

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

**Softwarová aplikace pro výpočet útlumové bilance v pasivních
optických přístupových sítích**

**Software Application for Calculation of Attenuation Balance in
Access Passive Optical Network**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Hájek

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Softwarová aplikace pro výpočet útlumové bilance v pasivních optických přístupových sítích
Software Application for Calculation of Attenuation Balance in Access Passive Optical Network

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je realizace aplikace v Javě pro výpočet útlumové bilance v pasivních optických přístupových sítích.

1. Popis útlumů vyskytujících se v pasivních optických sítích a součástek používaných pro budování PON sítí.
2. Návrh a vývoj softwarové aplikace v Javě pro výpočet útlumové bilance v PON sítích.
3. Vytvoření protokolu pro předmět Optoelektronika I na téma využití softwarové aplikace pro výpočet útlumové bilance v PON sítích.

Seznam doporučené odborné literatury:

MA, Maode. *Current Research Progress of Optical Networks*. 1st Edition. : Springer, 2009. 282 p. ISBN 978-1402098888, ISBN-10: 140209888X.
LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. (Oxford) : Elsevier Onc., 2007. 324 pp. ISBN 978-0-12-373853-0.
DHAINI, Ahmad R. *Next-Generation Passive Optical Networks*. (Saarbrücken) : VDM Verlag, 2008. 132 p. ISBN 978-3836435062.
CHOMYCZ, Bob. *Planning Fiber Optic Networks*. 1st Edition. (New York) : McGraw-Hill Professional, 2009. 400 p. ISBN 978-0-07-164269-9, MHID: 0-07-164269-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

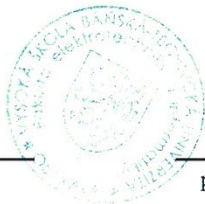
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Látal**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s pomocí odborných rad vedoucího práce a s pomocí doporučené literatury. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Ostravě dne

..... Podpis autora

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Látalovi za odborné vedení diplomové práce a obětavou pomoc s teoretickou i praktickou částí této práce.

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření softwarové aplikace pro výpočet útlumové bilance a návrh pasivní optické sítě, sestavení měřicí úlohy s použitím programu, která bude zavedena do osnov výuky studentů na katedře telekomunikační techniky. V teoretické části jsou popsány faktory vytvářející ztráty na optické trase, typy používaných médií a zařízení v praxi a způsoby výměny dat v síti. Pro realizaci práce bylo využito jazyku Java v prostředí programu NetBeans společnosti Sun Microsystems.

Klíčová slova:

Vlnová délka, pasivní optická síť, topologie, standard, útlum, vložný útlum, optické vlákno, disperze, ztráty, jednovidové, mnohovidové.

Abstract:

Purpose of my bachelor work was creation of software application for calculation of attenuation balance and draft of passive optical network, setting of measurement task, with use of program, which will be applied in program of education of students in department of telecommunication technology. In theoretical part are described factors of creation of losses on optical route, types of used media and equipment in practice and means of data exchange in network. For realisation of thesis was used Java language in environment of NetBeans program from Sun Microsystems company.

Key Words:

Wavelength, passive optical network, topology, standards, attenuation, insertion loss, fiber optic, dispersion, loss, singlemode, multimode.

Seznam použitých symbolů a zkratek:

APON	- ATM Passive Optical Network
BPON	- Broadband Passive Optical Network
CWDM	- Coarse Wavelength Division Multiplexing
dB	- decibel
DWDM	- Dense Wavelength Division Multiplexing
EPON	- Ethernet Passive Optical Network
FBT	- Fused Bionic Taper
FDM	- Frequency Division Multiplexing
FTTB	- Fiber to the Building
FTTC	- Fiber to the Curb
FTTH	- Fiber to the Home
FTTN	- Fiber to the Node
FTTO	- Fiber to the Office
Gbit	- Gigabit
GI	- Gradient Index
GPON	- Gigabit capable Passive Optical Network
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU-T Union	- Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication
LED	- Light-Emitting Diode
MAC	- Media Access Control
Mbit	- Megabit
MFD	- Mode Field Diameter
MM	- multimode
NA	- Numerical aperture
nm	- nanometer
ODN	- Optical Distribution Network
OLT	- Optical Line Termination
ONU	- Optical Network Unit
ONT	- Optical Network Terminal
OTDR	- Optical Time Domain Reflectometer
P2P	- Peer to peer

PLC	- Planar Lightwave Circuit
PON	- Passive Optical Network
RM-OSI	- Reference Model of Open System Interconnection
SI	- Step Index
SM	- singlemode
TDM	-Time Division Multiplexing
TDMA	- Time Division Multiplexing Access
WDM	- Wavelength Division Multiplexing
μm	- micrometer

Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	PON(PASIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ).....	2
2.1	TOPOLOGIE PON.....	3
2.1.1	PON-P2P.....	4
2.1.2	PON-P2MP	5
2.2	TECHNOLOGIE PŘENOSU V PON.....	6
2.2.1	WDM-PON	6
2.3	SÍŤOVÉ ARCHITEKTURY	9
2.4	DĚLENÍ DLE ITU-T A IEEE.....	11
2.4.1	APON/BPON	12
2.4.2	EPON,GEPON	12
2.4.3	GPON.....	13
2.4.4	XG-PON a 10GPON (XEPON)	14
2.4.5	Útlumové třídy	16
3	PASIVNÍ OPTICKÁ ZAŘÍZENÍ	17
4	OPTICKÁ VLÁKNA	18
4.1	MNOHOVIDOVÁ VLÁKNA	18
4.1.1	Mnohovidová vlákna s konstantním indexem lomu	18
4.1.2	Mnohovidová vlákna s gradientním indexem lomu	19
4.1.3	Výpočty mnohovidových vláken.....	20
4.1.4	Základní rovnice útlumu	22
4.2	JEDNOVIDOVÁ VLÁKNA.....	23
4.2.1	Jednovidová vlákna s konstantním indexem lomu	23
4.2.2	MFD – průměr vidového pole	25
4.3	ZTRÁTY V JEDNOVIDOVÝCH A MNOHOVIDOVÝCH VLÁKNECH.....	26
4.3.1	Disperze.....	27
4.3.2	Ztráty absorpcí	28
4.3.3	Ztráty vyzařováním	29
4.3.4	Ztráty rozptylem.....	29
4.3.5	Ztráty ohybem.....	31
4.3.6	Ztráty vlivem okolní teploty.....	32
4.4	PŘENOSOVÁ OKNA.....	33
4.5	ROZDĚLENÍ DLE ITU-T G.65X.....	34
4.5.1	G.651.....	34
4.5.2	G.652.....	35
4.5.3	G.653.....	35
4.5.4	G.654.....	36
4.5.5	G.655.....	36
4.5.6	G.656.....	37
4.5.7	G.657.....	37
5	SPOJKY, SVARY A KONEKTORY.....	39
5.1	SVARY.....	39
5.1.1	Svařování a lepení vláken	40
5.2	SPOJKY.....	41
5.3	KONEKTORY.....	42
5.3.1	Ferule.....	43
5.3.2	Typy konektorů	44

5.4	ÚTLUMY SVARŮ, SPOJŮ A JEJICH VÝPOČET.....	46
5.4.1	Útlum spojení dvou vláken	46
5.4.2	Fresnelův odraz	47
5.4.3	Spojování vláken s různým MFD, NA a průměrem jádra	48
6	PASIVNÍ OPTICKÉ ROZBOČOVAČE	52
6.1	VÝROBA ROZBOČOVAČŮ.....	52
6.1.1	PLC – Planar Lightwave Circuit.....	52
6.1.2	FBT – Fused Bionic Taper.....	53
6.2	FUNKCE ROZBOČOVAČE.....	54
6.3	ÚTLUM ROZBOČOVAČE	55
7	PŘÍKLAD ÚTLUMOVÉ KALKULACE	56
8	ROZBOR PRAKTICKÉ ČÁSTI NÁVRHU SOFTWARE APLIKACE PRO VÝPOČET ÚTLUMOVÉ BILANCE PASIVNÍ OPTICKÉ SÍTĚ V JAZYCE JAVA.....	58
8.1	NÁVRHOVÝ VZOR.....	58
8.2	GUI - GRAFICKÉ UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ.....	59
8.2.1	Hlavní nabídka	59
8.2.2	Okno s výsledky výpočtu.....	61
8.2.3	Panel návrhu topologie.....	62
8.3	UKLÁDÁNÍ DAT.....	64
8.3.1	PDF.....	64
8.3.2	HTML a XLS.....	66
8.3.3	Ukládání topologie	66
8.4	KALKULACE VÝSLEDKŮ.....	66
8.4.1	Výběr ferule	66
8.4.2	Výpočet MFD.....	67
8.5	NÁPOVĚDA.....	68
8.6	GLOBALIZACE	68
9	VYTVOŘENÍ PROTOKOLU PRO PŘEDMĚT OPTOELEKTRONIKA I NA TÉMA VYUŽITÍ SOFTWARE APLIKACE PRO VÝPOČET ÚTLUMOVÉ BILANCE V PON SÍTÍCH.....	69
10	ZÁVĚR.....	70
11	POUŽITÁ LITERATURA	71
12	PŘÍLOHY	74
I.	LABORATORNÍ ÚLOHA PRO PŘEDMĚT OPTOELEKTRONIKA I.....	74

1 Úvod

Optoelektronika je zatím stále ještě mladým odvětvím elektroniky, ale buduje si velice rychle své místo ve světě informačních a sdělovacích systémů. S příchodem optických vláken do telekomunikační techniky nastal zvrát s předáváním informací.

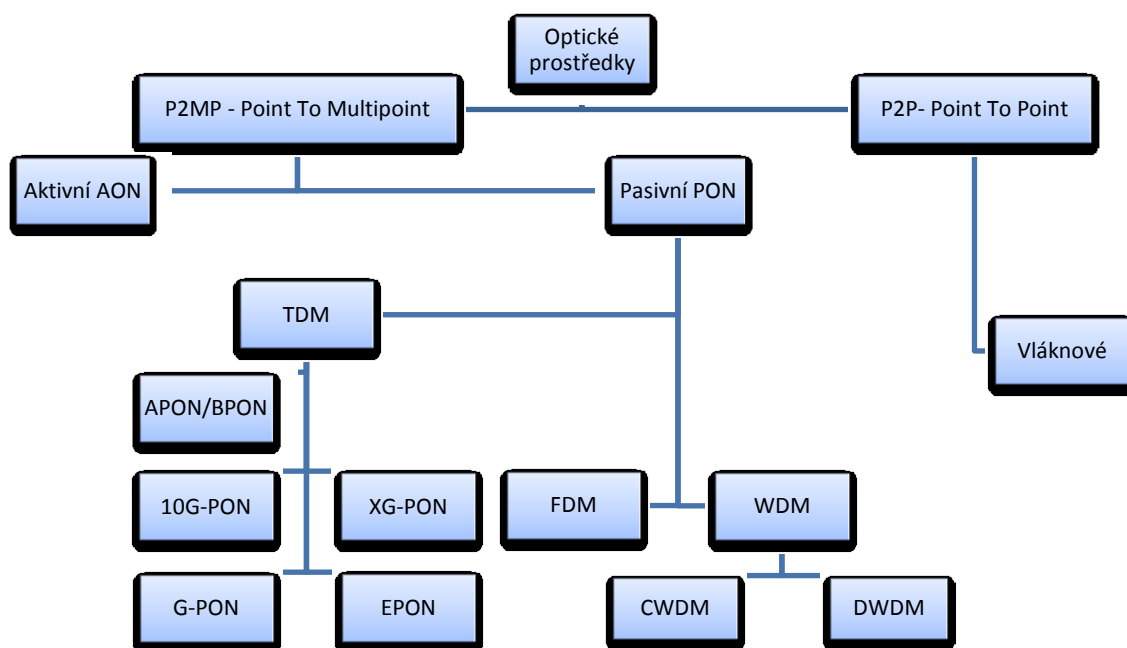
Optická vlákna velice rychle nahrazují metalická vedení pro jejich výborné charakteristické vlastnosti, jako je nízký útlum, spolehlivost, velká šířka přenosových pásem, odolnost proti rušivým okolním vlivům jako je elektromagnetická interference a přeslech, dostupnost výrobního materiálu a zvláště pak vysoké přenosové rychlosti. Avšak obsahují i nevýhody na příklad vysokou výrobní cenu, nízkou odolnost, komplikovanou instalaci a vysokou náchylnost na špínu. V tomto ohledu jsou metalická vedení stále výhodnější, ale s odstupem času se i tyto nevýhody překonají a metalické rozvody budou plně nahrazeny optickými kabely.

Cílem této bakalářské práce je vytvořit aplikaci, která bude nabízet možnost simulovaného měření útlumové bilance v pasivních optických sítích. Uživatelé díky této aplikaci budou schopni otestovat vhodnost volby optických prvků při návrhu optické distribuční sítě. Poslední částí práce bude vytvoření měřicího protokolu, kde bude kladen důraz na návrh optické distribuční sítě s ohledem na specifickou lokalitu a požadavky uživatelů.

2 PON(Pasivní Optická Sít')

Pasivní optické sítě jsou tvořeny optickými prvky, které nevyžadují vnitřní ani vnější zdroj elektrické energie. Tato zařízení pracují pouze na fyzikálních vlastnostech šíření světla optickým médiem podle zákona odrazu a lomu světla na rozhraní dvou dielektrických prostředí. Sítě tohoto typu se skládají z OLT (Optical Line Termination), ONU (Optical Network Unit), ONT (Optical Network Termination), média pro přenos optického signálu (skleněná, nebo plastová optická vlákna), optických rozbočovačů (splitter), optických rozvaděčů, optických filtrů, spojek, konektorů a svarů.

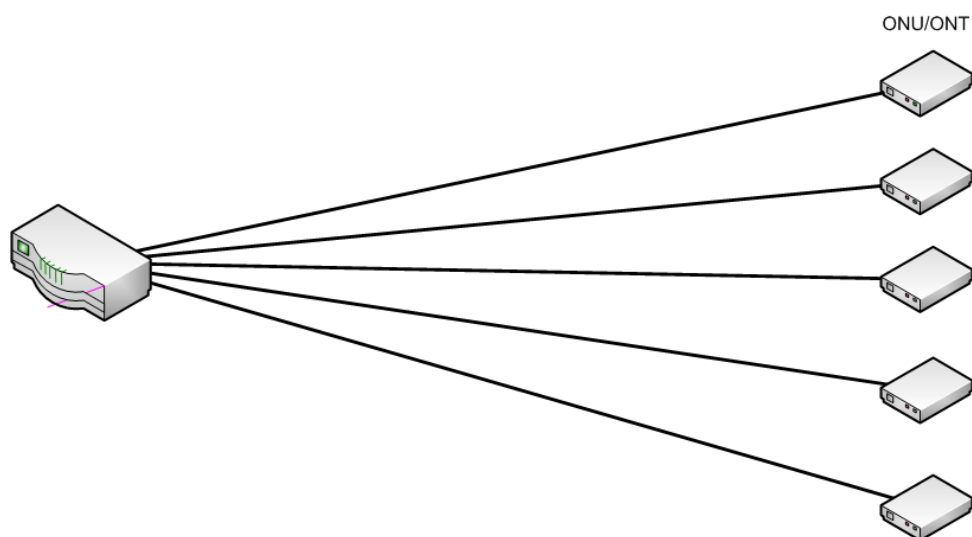
Jednotlivé varianty optických přístupových sítí PON se liší zejména použitým protokolem na druhé vrstvě (spojové vrstvě) RM-OSI a dále parametry jako je přenosová rychlost, maximální překlenutelná vzdálenost a maximální počet účastníků v jedné síti.



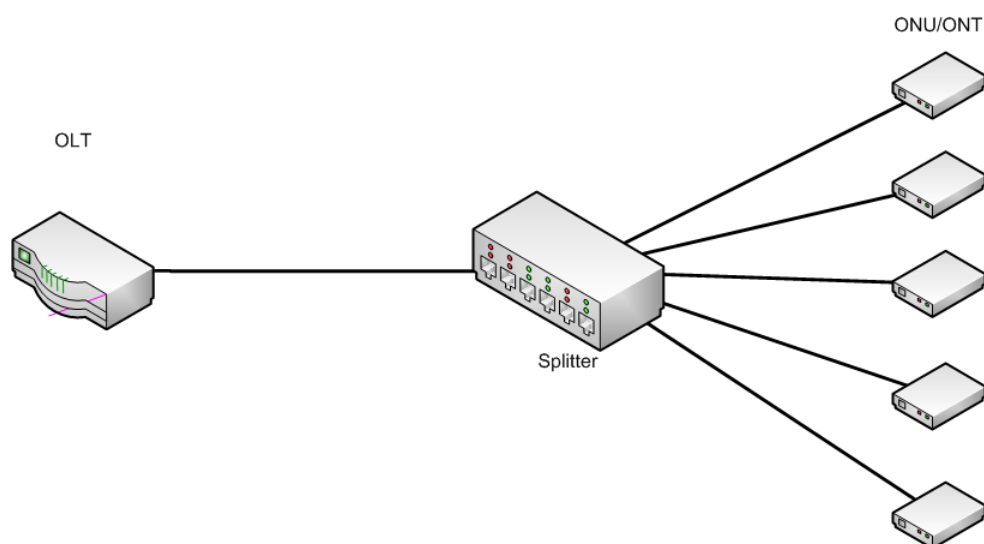
Obr. 2.1: Rozdělení Optických sítí.

2.1 Topologie PON

Důležitým aspektem určující charakter sítě je i zvolená topologie přístupové sítě. Dnes se nejvíce využívají topologie PON-P2P a PON-P2MP s hvězdicovou (stromovou) topologií, kdy jako centrální prvek slouží rozbočovač viz obr. 2.2 a 2.3.



Obr. 2.2: PON-P2P.



Obr. 2.3: Topologie PON-P2MP (strom, hvězda).

Při budování PON sítí se musíme rozhodovat na základě jednoznačně daných požadavků na danou přenosovou infrastrukturu. Návrh konečné topologie je ovlivněn i geografickou polohou dané lokality, kde bude síť budovaná, ale i z dalších aspektů jako jsou operátor, typy budov a uživatelů, vzdálenosti od páteřní sítě apod.

Základní požadavky, které by měly být směrodatné při budování pasivních sítí:

- Kolik uživatelů připojuji ihned při budování sítě?
- Kolik uživatelů budu připojovat později?
- Jak snadno připojím uživatele v průběhu provozu sítě?
- Jaké budou náklady na servis?
- Jaké mohou nastat poruchy a jak bude nákladné jejich odstranění?
- Jak dlouho bude trvat odstranění poruchy a za jakých podmínek?
- Jaká bude zvolená topologie sítě (P2P – PON)?

2.1.1 PON-P2P

Základní topologie PON-P2P je znázorněna na obr. 2.1. V případě tohoto typu topologie se využívá stejný počet vláken jako koncových uživatelů sítě. To přináší jisté výhody, ale i nevýhody.

Výhody:

- jednoduché řešení, nezávislost na aktivních prvcích
- jednoznačné oddělení uživatelů
- běžně dostupné prvky, není třeba Burst mode laser
- snadné zvyšování počtu aktivních portů podle potřeby
- levnější aktivní prvky, vyhrazené pásmo pro uživatele
- větší šířka pásma, i pro upload
- nižší potřebný power budget/delší vzdálenost
- jednoduchý servis, upgrade sítě, odlišení zákazníků
- optimální řešení pro **Open Access** (Otevřené Přístupové) sítě

Nevýhody:

- větší počet vláken
- větší počet konektorů
- počet aktivních portů – laserů (údržba – servis)
- napájení/příkon aktivních prvků

2.1.2 PON-P2MP

PON topologie se stromovým řešením, kdy jako centrální prvek pro rozdělení signálu jednotlivým uživatelům slouží optický rozbočovač. Nejnovější technologií přenosu signálu je tzv. vlnové dělení neboli WDM (Wavelength Division Multiplexing) viz kap. 2.2.1, díky kterému je možné na jedno vlákno navázat více vlnových délek a tím využít celou šířku přenosového pásma daného média. Na obrázku 2.3 je příklad hvězdicové topologie PON sítě, v tomto případě se jedná o jednoduchou strukturu, ale v reálném prostředí se vytvářejí celé síťové infrastruktury s N počtem rozbočovačů. Takovým to sítím se pak říká kaskáda rozbočovačů. Každý optický rozbočovač má maximální možnost rozdělení optického signálu do 1:128 výstupům, kdy v praxi se využívá 1:64 z důvodu vysokého vložného útlumu.

Výhody:

- snadná implementace CATV
- náhrada aktivních prvků pasivními vláknovými odbočnicemi
- úspora místa, pro 16, 32 až 64 přípojek jen jedno vlákno, jeden aktivní port
- úspora optických vláken v trase k rozbočovačům
- snadné vícestupňové pasivní odbočení – bez potřeby napájení
- při větším počtu účastníků nižší požadavky na energii

Nevýhody:

- omezení šířky pásma pro jednotlivé uživatele („sběrnice“)
- potřeba většího power budget pro optické rozhraní
- složitější topologie sítě => složitější měření
- cena je hodně závislá na procentu využití OLT

- možný odposlech provozu, snadné narušení provozu
- složitější zvyšování rychlosti pro jednotlivé uživatele
- nutné pečlivé plánování rozvoje sítě
- problém s upgradem sítě

V reálných případech se nevyužívá striktně jen P2P nebo hvězdicová topologie, ale častější je kombinace těchto dvou síťových struktur odvíjejících se z daných okolností.

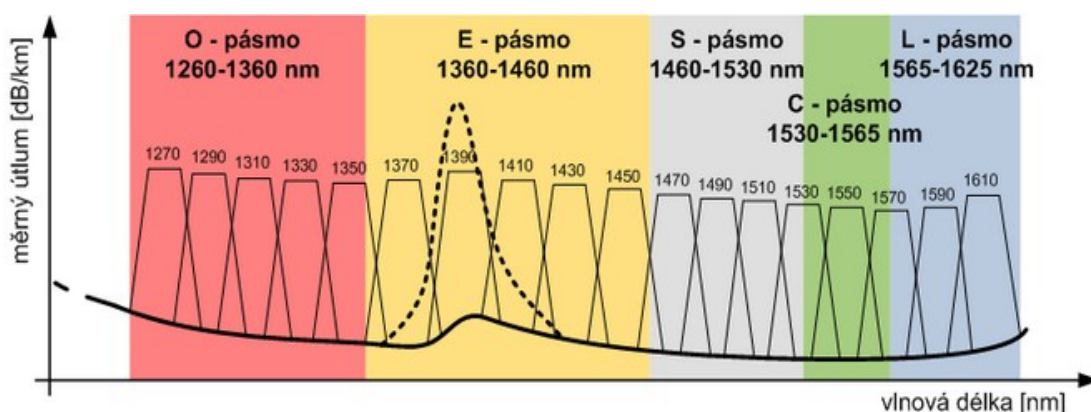
2.2 Technologie přenosu v PON

Mezi základní techniky multiplexování signálu patří DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), FDM (Frequency Division Multiplexing), SDM (Simplex Division Multiplexing), TDM (Time Division Multiplexing).

- **TDM**- časové oddělení signálu, kdy se na médium přistupuje v závislosti na zpoždění signálu
- **SDM**- metoda, kdy pro každý směr signálu se využívá samostatné vlákno
- **FDM**- nebo také SCM, kdy jsou signály v obou směrech přenášeny po jednom vláknu v jedné oblasti vlnových délek a směry přenosu jsou odděleny kmitočtově

2.2.1 WDM-PON

Technologie vlnového dělení WDM umožňuje paralelně přenášet po jednom optickém vlákně několik navzájem oddělených vlnových délek a tím znásobit jeho celkovou kapacitu. Technologie WDM byla teoreticky navržena již v roce 1970, v roce 1978 pak proběhl první přenos se současným využitím dvou vlnových délek v laboratorních podmínkách. Postupně došlo díky standardizaci ITU-T (ITU-T G.694.2) k jednotnému určení vlnových délek pro realizaci vlnového dělení a došlo také k rozdělení na variantu hrubého CWDM a hustého DWDM vlnového dělení podle vzájemného odstupu vlnových délek [5].



Obr. 2.4: Kanály CWDM definované dle ITU-T G.694.2[5].

Pro hrubé vlnové dělení CWDM byly definovány jednotlivé kanály s první nosnou 1270 nm a poslední 1610 nm, s odstupem mezi jednotlivými nosnými 20 nm a tolerancí nosné $\pm 6,5$ nm. Větší rozteč kanálů a dodatečná tolerance je nutná z důvodu použití obecně méně kvalitních optických zdrojů v optických přístupových sítích a závislosti vysílané vlnové délky na teplotě. Pro standardní jednovláknové vlákno 9/125 μm je definováno 18 kanálů rozdělených do následujících pásem [5]:

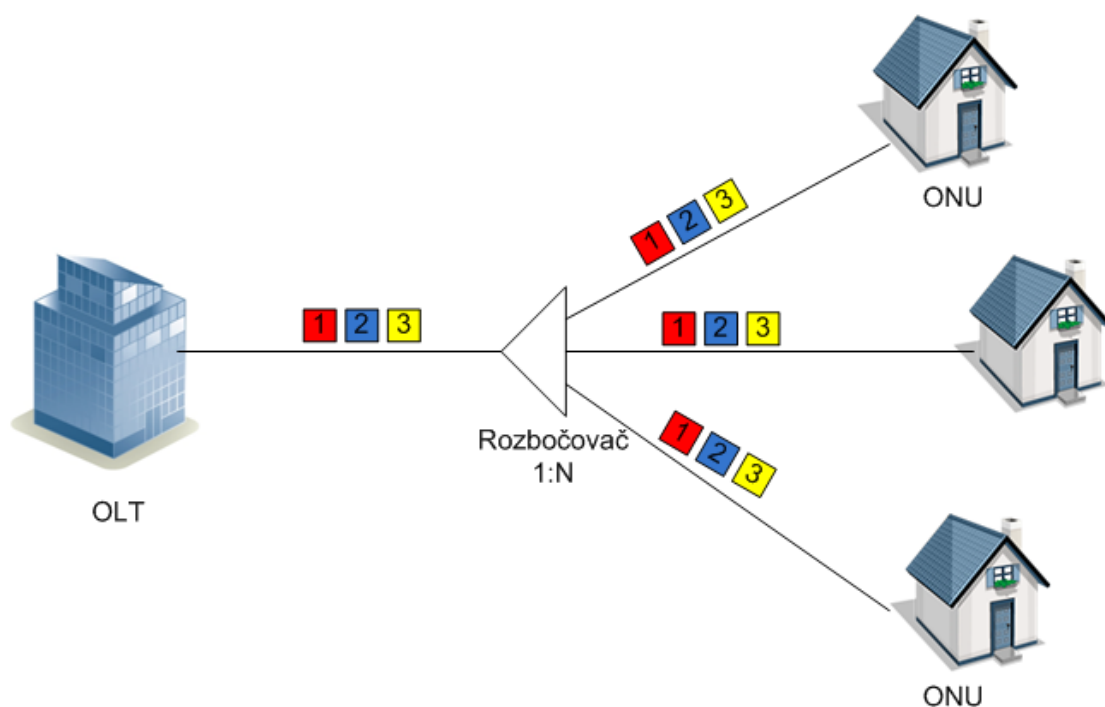
- **pásmo O** (Original): vlnové délky 1260-1360 nm, nosné číslo 1-5
- **pásmo E** (Extended): vlnové délky 1360-1460 nm, nosné číslo 6-10 (počítá se s optickým vláknem s potlačenými ionty OH^- , viz obr. 2.4 naznačeno čárkovaně)
- **pásmo S** (Short): vlnové délky 1460-1530 nm, nosné číslo 11-14
- **pásmo C** (Conventional): vlnové délky 1530-1565, nosné číslo 15
- **pásmo L** (Long): vlnové délky 1565-1625 nm, nosné číslo 16-18

Varianta DWDM využívá menší rozteče mezi jednotlivými kanály a potřebuje podstatně nižší toleranci vlnové délky jednotlivých nosných. Tím pádem dovoluje ve stejném pásmu umístit větší počet vlnových délek, typicky 32, 64 a perspektivně až 96 v jednom uvažovaném pásmu. Pro použití hustého vlnového multiplexu jsou však nutné aktivně chlazené optické zdroje (nejčastěji lasery typu DFB – Distributed Feedback Laser) a celkové náklady na provoz jsou tak mnohem vyšší než v případě CWDM[5].

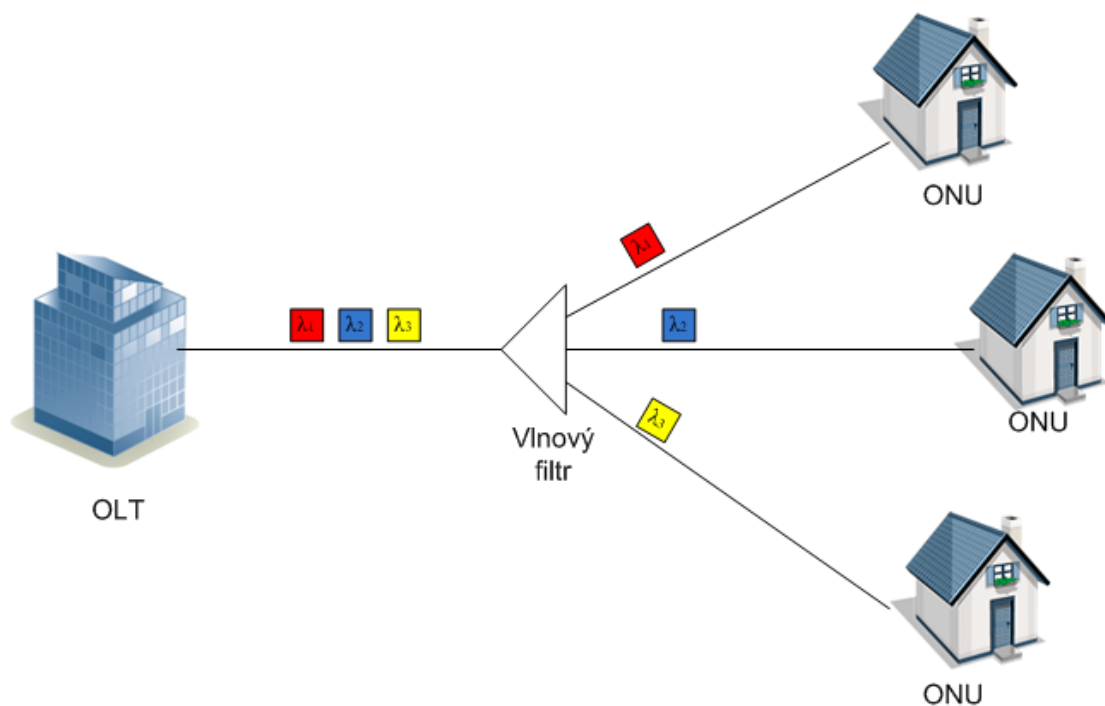
Pro využití v pasivních optických přístupových sítích se pro použití vlnového dělení DWDM uvažuje o pásmech C a L s roztečí jednotlivých nosných cca 0,8 nm, což by umožnilo přenos 32 až 80 vlnových délek. Pro dálkové a páteřní optické spoje pak pásma C, L a S s roztečí nosných cca 0,4 nm

a použitím 80 až 160 nosných v jednom vlákne. Existují ale již teoretické studie pro zavedení ultra jemného vlnového dělení UDWDM (Ultra-Dense WDM) [5].

Dnes je nejvyžívanější způsob TDMA(Time Division Multiplexing Access) u směru vzestupném (upload) a TDM pro sestupný směr (download), ale do budoucna bude nahrazován především pomocí technologie WDM, hlavně z důvodu využitelné šířky přenosového pásma jednoho optického média, nebo kombinaci TDMA/WDM. Hlavním rozdílem při výstavbě infrastruktury je, že v případě TDMA se signál dělí v rozbočovači a na každou přípojku ONT dorazí stejné pakety, které jsou následovně rozděleny podle MAC adresy uživatelských rozhraní. Toto má ovšem hlavní nevýhodu v bezpečnosti, protože může docházet k dešifrování cizích dat. Avšak WDM místo rozbočovače využívá vlnový filtr, který oddělí jednotlivé vlnové délky z hlavního signálu a rozdělí je do účastnických přípojek. Tímto způsobem je řešena bezpečnost s odposloucháváním datového přenosu, ale na úkor mnohonásobně vyšší ceny používaných zařízení. Příklady TDM a WDM jsou pak na obr. 2.5 a 2.6.



Obr. 2.5: TDM s dělením signálu ve směru sestupném (downstream).



Obr. 2.6: WDM s filtrováním vlnových délek ve směru sestupném (downstream).

2.3 Síťové architektury

Typická struktura pasivní optické sítě obecně představuje rozvětvenou stromovou strukturu s větším množstvím připojených koncových účastníků. Jednou z možností, jak snížit současné vysoké náklady na vybudování čistě optické přípojky, je koncepce opticko-metalických přípojek, které kombinují optickou síť s navazující metalickou strukturou. V souvislosti s optickými přístupovými sítěmi se tak často objevují varianty přípojek označovaných jako FTTx (Fiber To The X Point), které specifikují bod, kde bude ukončena optická síť a odkud již bude pokračovat navazující metalická varianta, propojující samotné koncové uživatele viz obr. 2.7.

– FTTE_x

FTTE_x (Fibre to the Exchange) optická vlákna jsou vyvedena do telefonní ústředny, kde je umístěn účastnický multiplexor DSLAM a přes hlavní rozvod ústředny jsou účastníci připojeni prostřednictvím metalického vedení a přípojek ADSL, SHDSL, případně VDSL.

- **FTTCab**

V řešení FTTCab (Fibre to the Cabinet) jsou optická vlákna přivedena do rozvaděče v terénu.

- **FTTC**

FTTC (Fibre to the Curb) Optická vlákna jsou vyvedena k okraji chodníku do blízkosti skupiny domů.

- **FTTB**

U FTTB (Fibre to the Building) se vlákna přivádí až do budov, kde se dále signál rozvádí metalickým vedením (telefonní rozvody nebo strukturovaná kabeláž) či bezdrátově.

- **FTTNode**

Vlákno je vyvedeno do skříně (uzlu), který se umísťuje do vzdálenosti několika km od uživatelských budov. K uživatelským zařízením se dostanou data přes metalická vedení.

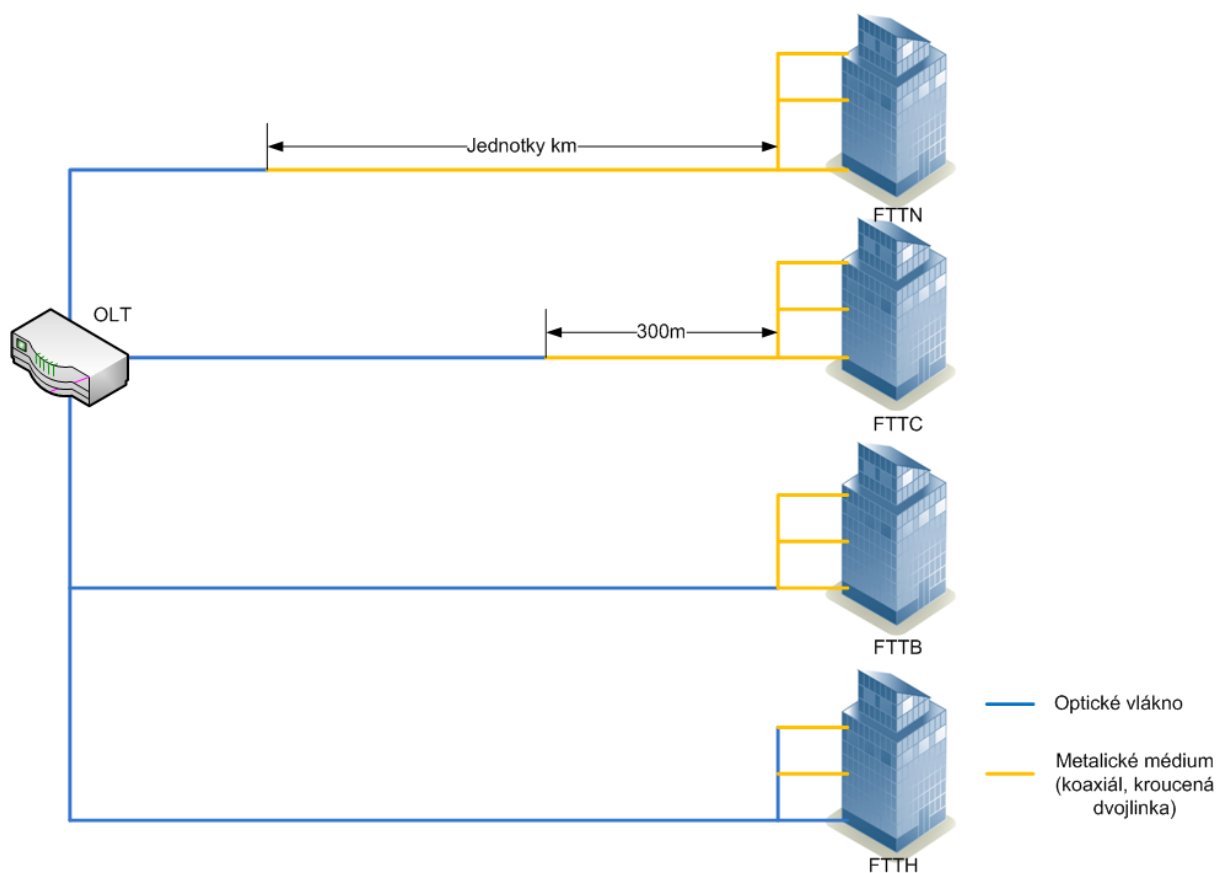
Všechna do této doby uvedená řešení jsou tzv. hybridní, což znamená, že se optické vedení přivede do ústředny nebo rozvaděče kde se převede optický signál na elektrický a dále se šíří po stávajícím metalickém vedení. Takových to řešení se využívá například u starých budov.

- **FTTO**

FTTO (Fibre To The Office) představuje variantu při, které se vlákna přivádějí přímo k uživatelům s velkými nároky na přenosovou kapacitu. Jedná se o čistě Optickou záležitost bez použití metalických médií.

- **FTTH**

V případě řešení FTTH (Fibre to theHome) jsou optická vlákna zavedena až ke koncovým bodům sítě, tj. až do účastnické zásuvky. Jedná se o nejčastěji budovanou variantu přípojky v ČR.



Obr. 2.7: FTTX architektury.

2.4 Dělení dle ITU-T a IEEE

V současné době existuje několik vzájemně odlišných variant pasivních optických přístupových sítí, lišících se zejména použitými protokoly a mechanismy na druhé vrstvě modelu RM-OSI. Mezi nejperspektivnější se řadí zejména varianta GPON (dle doporučení ITU-T G.983 a G.984) a EPON (dle IEEE 802.3ah). Obě varianty nabízejí podobné přenosové vlastnosti, jsou však vzájemně nekompatibilní. Základní koncepce vychází ze stejného modelu a rovněž z použití obdobných prvků a principů.

2.4.1 APON/BPON

Doporučení ITU-T G.983 standardizovalo přenos na základě ATM buněk, proto označení APON (ATM PON), s celkovými rychlostmi buď symetricky 155,52 Mbit/s, nebo nesymetricky s vyšší rychlostí 622,08 Mbit/s směrem k účastníkům. Dodatečně byla doplněna i varianta se symetrickými rychlostmi 622,08 Mbit/s a začala se používat i zkratka BPON (Broadband PON).

Podle ITU-T G.652 se pro přenos využívá jedno nebo dvě jednovláknová vlákna. Obousměrná komunikace se zajišťuje buď vlnovým dělením na jediném vlákně (v dopředném směru vlnovými délkami 1480 - 1580 nm a ve zpětném směru 1260 - 1360 nm), nebo jednosměrným provozem na dvou vláknech. V případě použití jednoho vlákna se jedná o finanční výhodu [8].

2.4.2 EPON,GEAPON

Tyto varianty jsou založeny na přenosu rámců Ethernet. EPON (Ethernet Passive Optical Network) někdy i jako GEAPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) a perspektivně uvažovanou budoucí variantou 10GEAPON (10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network) původně označovanou též jako XEPON.

Díky postupnému rozšiřování datových sítí s přenosem pomocí protokolu podporující Ethernet vznikla standardizační aktivita EFM, která představila koncepci Ethernet v první míli (Ethernet in the First Mile). Jedná se současně o název pracovní skupiny IEEE 802.3ah, která vydala doporučení pro koncepci vysokorychlostních přístupových sítí založených právě na Ethernetu.

Součástí doporučení je rovněž varianta pasivní optické přístupové sítě EPON označovaná jako 1000BASE-PX10 a 1000BASE-PX20, tedy EPON typ 1 a typ 2. Někdy lze tuto optickou síť nalézt i pod zkratkou GEAPON, kde písmenko G indikuje gigabitové přenosové rychlosti.

- 1000BASE-PX10-D/U (Downstream – OLT, Upstream – ONU) - 1 jednovláknové vlákno do 10 km
- 1000BASE-PX20-D/U (Downstream – OLT, Upstream – ONU) - 1 jednovláknové vlákno do 20 km

- ve směru sestupném je rámec ohraničený na začátku i na konci synchronizačními značkami a mezi nimi postupně následují Ethernet rámce o různé délce určené pro ONU číslo 1. – N. viz obr.2.5
- ve vzestupném směru jsou v každém rámci MAC vyhrazeny kanálové intervaly pro všechny ONU a mezi kanálovými intervaly je ponechán ochranný interval. Každý kanálový interval je opatřen záhlavím, může obsahovat několik Ethernet rámců od dané ONU a výplň v nevyužitě části

2.4.3 GPON

Jedná se o rozšíření varianty APON, kdy doporučení ITU-T G.984 vychází ze standardu G.983. Využívá jako druhou vrstvu komunikačního modelu GEM (GPON Encapsulation Mode), což je varianta protokolu GFP (Generic Framing Procedure).

	APON/BPON	GPON	EPON (typ 2)
standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
přenos. rychlost – sestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
přenos. rychlost – vzestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
vlnová délka – sestupný směr	1480-1500 nm	1480-1500 nm	1490±10 nm
vlnová délka – vzestupný směr	1260-1360 nm	1260-1360 nm	1310±50 nm
protokol na druhé vrstvě	ATM	ATM, GEM	Ethernet
max. počet připojených uživatelů	32	64 (128)	32
logický/fyzický dosah sítě [km]	20/20	60/20	20/20

Tab. 2.1: Srovnání APON/BPON,GPON a EPON.

2.4.4 XG-PON a 10GPON (XEPON)

Se vzrůstajícími nároky na přenosovou síť se posouvá prudce v před i jejich vývoj. Od roku 2009 po rok 2011 ITU-T a IEEE vydali standardy rozšiřující dosud sávající EPON a GPON. Tato nová doporučení definují rychlost PON >10Gbit/s. Tyto nové ustanovení jsou navržena tak aby byla zpětně kompatibilní se svými předchůdci. Jelikož pro nižší rychlosti je technologie TDM dostačující a to i pro XG-PON a 10GPON, tak v budoucnu již by mělo dojít ke změně s přechodem na WDM technologii a mělo by se začít s výstavbou tzv. hybridních PON kombinujících WDM-TDM. Z toho důvodu se začaly standardy dělit na NG-PON1 a NG-PON2 (Next Generation PON 1 a 2). NGA2 tak bude např. dosahovat sdílených přenosových rychlostí až 40 Gbit/s (dle současného plánu uvažovány 4 vlnové délky po 10 Gbit/s, nebo 40 vlnových délek po 1 Gbit/s), ovšem za cenu zcela nového návrhu a koncepce bez možnosti zpětné kompatibility s předchozími generacemi sítí [6].

10GPON

Pasivní optická přístupová síť 10GEPON je založena stejně jako předchozí varianta EPON na přenosu rámců Ethernet, přináší však oproti původní generaci EPON změny zejména v oblasti přenosových parametrů (sdílená přenosová rychlost, útlumové třídy, použité vlnové délky, zabezpečení). Zároveň však byla nová varianta vyvíjena s požadavkem na plné zachování zpětné kompatibility se starší verzí EPON tak, aby bylo možné obě varianty provozovat v rámci jedné optické distribuční sítě zároveň [6] viz tab. 2.2.

XG-PON

Podobně jako v případě institutu IEEE a nově navržené generace optické sítě 10GEPON, byla i v případě unie ITU-T řešena při vývoji PON sítě s přenosovou rychlostí 10 Gbit/s zejména otázka zpětné kompatibility tak, aby nově vytvořená varianta XG-PON byla zpětně plně kompatibilní s předchozí generací GPON, což by umožnilo jejich vzájemnou koexistenci a nasazení v rámci společné optické distribuční sítě ODN. Další výhodou by také byla možnost postupného přechodu na novější variantu pasivní optické sítě, bez nutnosti celkové přestavby a úprav již fungující GPON optické sítě. Jak již bylo naznačeno v úvodu, současně s novou variantou XG-PON byla vypracována i koncepce navazujících pasivních optických sítí, které tak byly rozděleny do dvou směrů – NGA1 (Next Generation Access 1) a NGA2 (Next Generation Access 2) [6] viz tab. 2.3.

	10GEAPON	EPON
Standard	IEEE 802.3av (2009)	IEEE 802.3ah (2004)
Přenosová rychlost na fyzické vrstvě	10,3125 Gbit/s	1,25 Gbit/s
	1,25 Gbit/s	
Kódování	64B/66B	8B/10B
Užitečná přenosová rychlost	Symetricky 10/10 Gbit/s	Symetricky 1/1 Gbit/s
	Asymetricky 10/1 Gbit/s	
Vlnové délky [nm]	Sestupný 1575-1580	Sestupný 1480-1500
	Vzest.1260-1280,1260-1360	Vzest.1260-1360
Zabezpečení FEC	Povinné RS(255,223)	Volitelné RS(255,239)
Max. Rozb. Poměr	1:16, 1:32, 1:64, 1:128	1:16, 1:32

Tab. 2.2: Srovnání 10GEAPON a EPON dle IEEE.

	XG-EPON	GPON
Standard	ITU-T G.987	ITU-T G.984
Přenosová rychlost na fyzické vrstvě	9,95Gbit/s	1,24 Gbit/s
	2,48Gbit/s	2,48 Gbit/s
Kódování	NRZ, skramblování	NRZ, skramblování
Užitečná přenosová rychlost	Asymetricky 10/2,5 Gbit/s	Symetricky 1;2,5/1;2,5Gbit/s
		Asymetricky 2,5/1,25 Gbit/s
Vlnové délky [nm]	Sestupný 1575-1580	Sestupný 1480-1500
	Vzestupný1260-1280	Vzest. 1260-1360,1290-1330
Zabezpečení FEC	Povinné RS(248,216)	Povinné RS(255,239)
Max. Rozb. Poměr	1:256	1:64 (1:128)

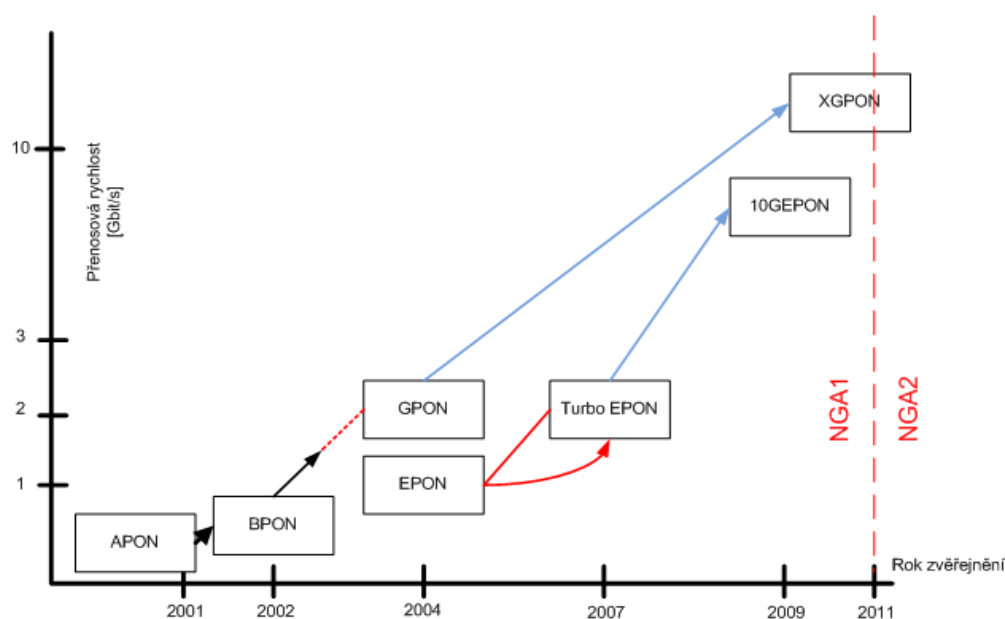
Tab. 2.3: Srovnání XG-PON a GPON dle ITU-T.

2.4.5 Útlumové třídy

V rámci doporučení ITU-T G.984 byly definovány tři útlumové třídy pro variantu GPON dále ITU-T G.987.2 uvádí čtyři pro XGPON. Rovněž v doporučení IEEE 802.3ah byly zahrnuty dvě varianty sítě EPON. Uvedené varianty se liší zejména hraničními hodnotami překlenutelného útlumu optické distribuční sítě ODN, hodnotami vysílaného a přijímaného výkonu a z toho vyplývající energetické a zejména finanční.

		Rozsah útlumu ODN [dB]	Max. překlenutelná vzdálenost [km]
GPON	třída A	5-20	10-20
	třída B	10-25	
	třída C	15-30	
EPON typ 1		5-20	10-20
EPON typ 2		10-24	
XG-PON tr.N1		14-29	20-40
XG-PON tr.N2		16-31	
XG-PON tr.E1		18-33	
XG-PON tr.E2		20-35	

Tab. 2.4: Útlumové třídy sítí GPON, EPON a XG-PON.



Obr. 2.8: Historický vývoj standardu ITU-T a IEEE.

3 Pasivní optická zařízení

Každý prvek v síti, od konektoru, svaru, rozvaděče přes optická vlákna až po rozbočovače a optické filtry klade podobně jako metalická vedení odpor elektrickým impulsům, tak u optických vedení klade odpor (útlum) průchodu světelnému signálu. V následujících kapitolách bude proveden rozbor jednotlivých prvků optické sítě se zaměřením na jejich útlumové vlastnosti.

ODN (Optická Distribuční síť) - Jedná se o soubor všech přenosových prostředků a prvků na cestě mezi optickým linkovým zakončením – OLT a optickými síťovými zakončeními a síťovými jednotkami – ONT, ONU. Patří sem zejména optická vlákna, pasivní optické rozbočovače, vlnové filtry, konektory a jiné pasivní prvky. Typická topologie distribuční sítě je rozvětvená stromová struktura [4].

OAN (Optická Přístupová Síť) - Je soubor optických distribučních sítí – ODN připojených ke stejnému optickému linkovému zakončení – OLT [4].

OLT (Optické Linkové Zakončení) - Je optické zařízení zakončující optickou distribuční síť na straně poskytovatele připojení. Provádí zejména konverzi protokolů použitých na straně pasivní optické přístupové sítě a odchozího připojení k páteřním sítím, kam může být připojeno různým způsobem. Druhá, neméně důležitá funkce jednotky OLT, je správa, dohled a řízení optických koncových zakončení a síťových jednotek – ONT a ONU, které se nacházejí nejčastěji v prostorách koncových uživatelů [4].

ONT (Optické Síťové Zakončení) - Představuje zařízení na straně účastníka. Jeho hlavním úkolem je adaptace protokolů mezi optickou přístupovou sítí a rozhraním, příp. lokální sítí koncového uživatele [4].

ONU (Optická Síťová Jednotka) - Jedná se o obecný název koncového zařízení na zákaznické straně optické sítě, mající stejné funkce jako optické síťové zakončení. Na rozdíl od ONT však realizuje připojení koncového uživatele prostřednictvím navazující metalické či bezdrátové sítě, může například kombinovat technologie xDSL (Digital Subscriber Line), Ethernet či WiFi (Wireless Fidelity) a obecně může připojovat větší množství koncových uživatelů [4].

4 Optická vlákna

Jedná se o optické světlovody, které se vyrábějí z křemičitého skla, nebo plastu. Slouží k přenosu světelných signálů na velké vzdálenosti s mnohem vyšší rychlostí než u jiných forem přenosových médií. Optická vlákna začínají nahrazovat metalické datové spoje, protože signály jsou přenášeny s daleko menšími ztrátami a nejsou ovlivňovány elektromagnetickým rušením.

Jako zdroj světla se používají LED diody, nebo Laserové diody (zdroj koherentního záření). LED diody se využívají hlavně v lokálních sítích s maximálním dosahem do 500m a to nejčastěji s MM vlákny. Jelikož je LED dioda zdroj nekoherentního záření nedosahuje potřebných kvalit pro přenos skleněným nebo plastovým materiálem s nízkými ztrátami. Laserové diody naopak vyzařují světelný signál v tak úzkém spektru, že je vhodný pro přenos informací na větší vzdálenosti, zvláště pak se používají pro přenosy na SM vláknech.

4.1 Mnohovidová vlákna

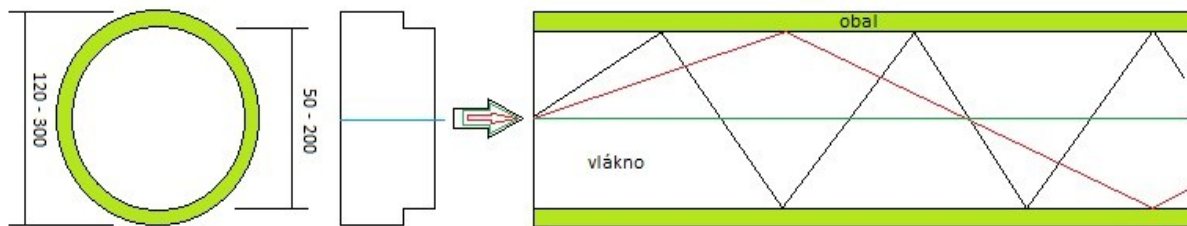
4.1.1 Mnohovidová vlákna s konstantním indexem lomu

(MM) Mnohovidová vlákna s konstantním indexem lomu jádra a skokovou změnou indexu lomu pláště.

- tento typ vláken se vyznačuje jednoduchou výrobou a manipulací, nevýhoda je větší útlum, ztráty a malá přenosová kapacita. Vlákna tohoto typu jsou především využívána pro spoje na krátké vzdálenosti, krátké přenosy dat a lokální sítě.

charakteristika:

- průměr jádra: 50 - 200 μm
- průměr obalu: 120 - 300 μm
- disperze: 50 ns/km
- útlum: 5-20 dB/km
- šířka pásma 60MHz



Obr. 4.1: Mnohovidové vlákno se skokovou změnou indexu lomu (SI).

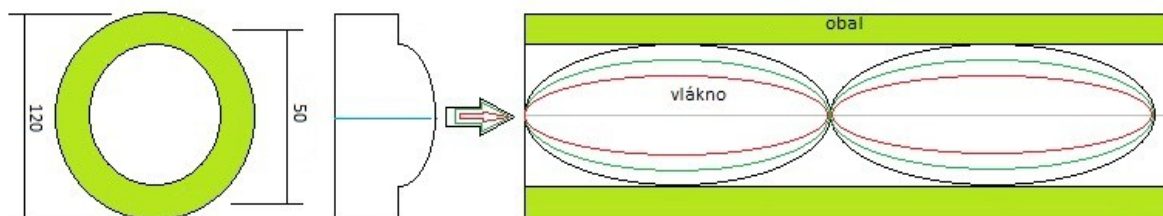
4.1.2 Mnohovidová vlákna s gradientním indexem lomu

(MM) Mnohovidová vlákna s proměnným indexem lomu v příčném řezu vlákna.

- hlavní výhodou těchto vláken je odstranění vidové disperze a menší útlum. Oproti těmto výhodným vlastnostem stojí složitá výroba a technicky náročné spojování vláken. Vlákno je vyrobeno z mnoha tenkých vrstviček s rozdílnými indexy lomu. Díky tomu paprsek opisuje sinusovou křivku a vidy putují vláknem po srovnatelných vzdálenostech.

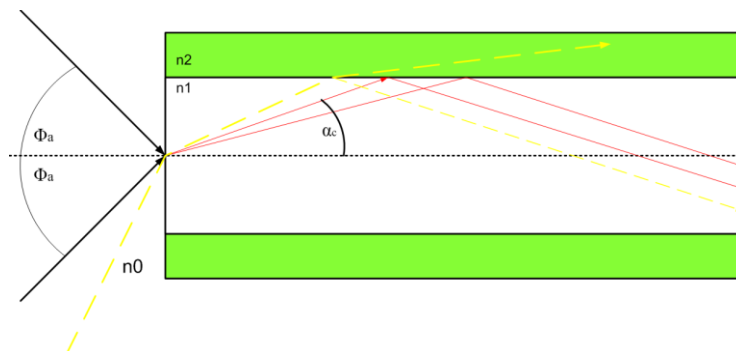
charakteristika:

- vlákno je normalizováno dle standartu ITU-T G.652
- průměr jádra: 50 μm , 62,5 μm
- průměr obalu: 125 μm
- disperze: 1 ns/km (při 0,85 μm)
- útlum: 2,5-5 dB/km
- šířka pásma 600MHz



Obr. 4.2: Mnohovidové vlákno s gradientní změnou indexu lomu (GI).

4.1.3 Výpočty mnohovidových vláken



Obr. 4.3: Výpočet NA a mezního úhlu.

NA a mezní úhel šíření paprsku vláknem

Numerická Apertura vyjadřuje míru schopnosti vlákna z okolí navázat do svého jádra optický svazek. Tohoto se využívá zejména u konektorových (rozebíratelných) spojů, kde je důležité zachovat co jek nejmenší vložný útlum konektoru. Další důležitou věcí, kterou musí navazovaný paprsek do vlákna splňovat je tzv. mezní úhel šíření. Pokud splňuje obě podmínky, šíří se paprsek vláknem podle pravidla totálního odrazu světla na rozhraní dvou dielektrických prostředí. Obě podmínky jsou na sobě závislé, a pokud je paprsek navazován do vlákna pod úhlem menším než je ϕ_a šíří se daným prostředím podle pravidla odrazu světla. Pokud je ale úhel navázání větší než je ϕ_a pak paprsek nesplní podmínku totálního odrazu a je z vlákna vyvázn viz obr. 4.3.

Mezní úhel α_c :

$$\alpha_c [^\circ] = \arcsin \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad (4.1)$$

Numerická Apertura ϕ_a :

$$n_0 * \sin \phi_a = n_1 * \sin \alpha_c \quad (4.2)$$

– Pokud paprsek dopadá na rozhraní ze vzduchu, který má index lomu $n_0=1$.

$$\sin \phi_a = n_1 * \sin \alpha_c \quad (4.3)$$

Počet vidů :

Počet vidů ve vlákne je omezen interferencí světelných paprsků, které jsou také chápány jako stojaté vlnění. Aby se mohly vidy médiem šířit, musejí splňovat podmínku stojatých vln.

- **Vedené vidy:** Tyto vidy splňují podmínku totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí. Vidy jsou vedeny jen jádrem vlákna, aby bylo možné jejich vyvázání, je nutné překročit maximální povolenou mez ohybu vlákna.
- **Vyzařující vidy:** U těchto vidů je porušena podmínka navazujícího úhlu do vlákna, který je větší než numerická apertura a část paprsku je tedy na rozhraní jádra a pláště ztracena.
- **Tunelující vidy:** Vidy tohoto typu splňují podmínku stojatého vlnění, ale přelévají se mezi vedenými a vyzařujícími vidy. Část energie se tedy vyváže na rozhraní a je ztracena.

Pro výpočet počtu vidů přenášených vláknem je nutné vypočítat tzv. normalizovanou frekvenci V , kde d je průměr jádra vlákna, λ vlnová délka a NA numerická apertura.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} * d * NA \quad (4.4)$$

Počet vidů pro vlákna se skokovou změnou indexu lomu.

$$M_{SI} = \frac{V^2}{2} \quad (4.5)$$

Počet vidů pro vlákna s gradientní změnou indexu lomu.

$$M_{GI} = \frac{V^2}{4} \quad (4.6)$$

Z těchto rovnic plyne, že pokud chceme zvětšit nebo zmenšit počet vidů vedených vláknem, musíme zvolit vlákno s menším, nebo větším průměrem jádra nebo zvětšit či zmenšit vlnovou délku.

4.1.4 Základní rovnice útlumu

ztráty optického vlákna:

$$A = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad (4.7)$$

útlum optického vlákna:

$$A[\text{dB}] = 10 * \log\left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}\right) \quad (4.8)$$

měrný útlum:

- je útlum optického vlákna vztažený na jednotku délky (km)

$$\alpha \left[\frac{\text{dB}}{\text{km}} \right] = \frac{A[\text{dB}]}{l} = -\frac{1}{l} * \log\left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}\right) \quad (4.9)$$

maximální překlenutelná vzdálenost:

- vzdálenost, kterou můžeme překlenout bez použití opakovačů a zesilovacích zařízení

$$L [\text{km}] = \frac{1}{\alpha} * 10 * \log\left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}\right) \quad (4.10)$$

4.2 Jednovidová vlákna

Oproti mnohovidovým vláknům mají jednovidová výhodu v maximální překlenutelné vzdálenosti, která je až 10ky – 100kykilometrů. Díky tomu jsou SM vlákna v telekomunikacích nejhojněji využívaným médiem pro přenos optického signálu.

4.2.1 Jednovidová vlákna s konstantním indexem lomu

(SM) Jednovidová vlákna s konstantním indexem lomu jádra a skokovou změnou indexu lomu pláště.

- výhodou tohoto typu je malá disperze i útlum a vysoká přenosová kapacita, používají se pro dálkové přenosy. V tomto vlákně se paprsek šíří po ose vlákna jen jedním videm. Jednovidová vlákna jsou velice náchylná na mikroohyby v řádech desetin mm.

charakteristika:

- průměr jádra: 7-9 μm
- průměr obalu: 125 μm
- disperze: 0,3 ns/km ($\lambda=1550\text{nm}$)
- útlum: 0,2 dB/km ($\lambda=1550\text{nm}$)
- šířka pásma: 10 GHz
- standardizováno ITU-T G652 – ITU-T G.657



Obr. 4.4: Jednovidové vlákno s konstantní změnou indexu lomu.

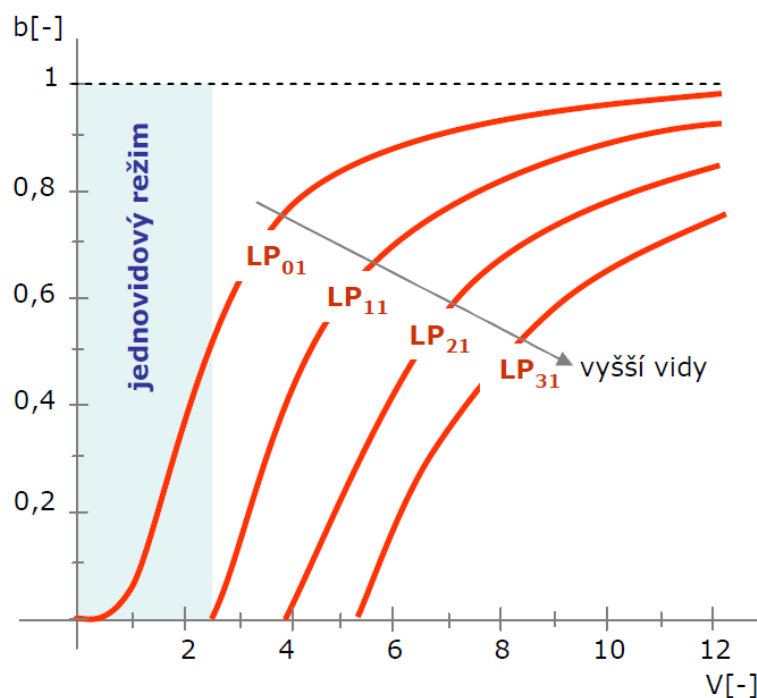
Jednovidové vlákno je velmi podobné mnohovidovému, ale s tím rozdílem, že v jednovidovém se přenáší pouze jeden vid. Pro dodržení jednovidového režimu vlákna se skokovou změnou indexu lomu musíme podle vzorce 4.11 zvolit vlákno, které bude mít takový průměr jádra a numerickou aperturu, že po výpočtu bude normalizovaná frekvence $V \leq 2,405$.

Ve vlnovodu se každý vid pohybuje s jinou fázovou konstantou β_z a obecně se k charakterizaci vedeného vidu vláknem používá vzájemný poměr b (normalizovaná konstanta šíření vidu) a V (normalizovaná frekvence). Každý vid se vlnovodem šíří fázovou rychlostí s efektivním indexem lomu n_{ef} , pro který musí platit $n_1 < n_{ef} < n_2$. Z této nerovnosti lze odvodit, že v případě kdy $n_{ef} \rightarrow n_1$ se bude vid šířit jádrem vlákna, kdežto v případě že se $n_{ef} \rightarrow n_2$ hrozí vyvázání vlákna z vlnovodu.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} * d * NA \leq 2.405 \quad (4.11)$$

$$n_{ef} = \frac{\beta_z}{\left(\frac{2\pi}{\lambda_{vakuum}}\right)} \quad (4.12)$$

$$b = \frac{n_{ef}^2 - n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} \quad (4.13)$$



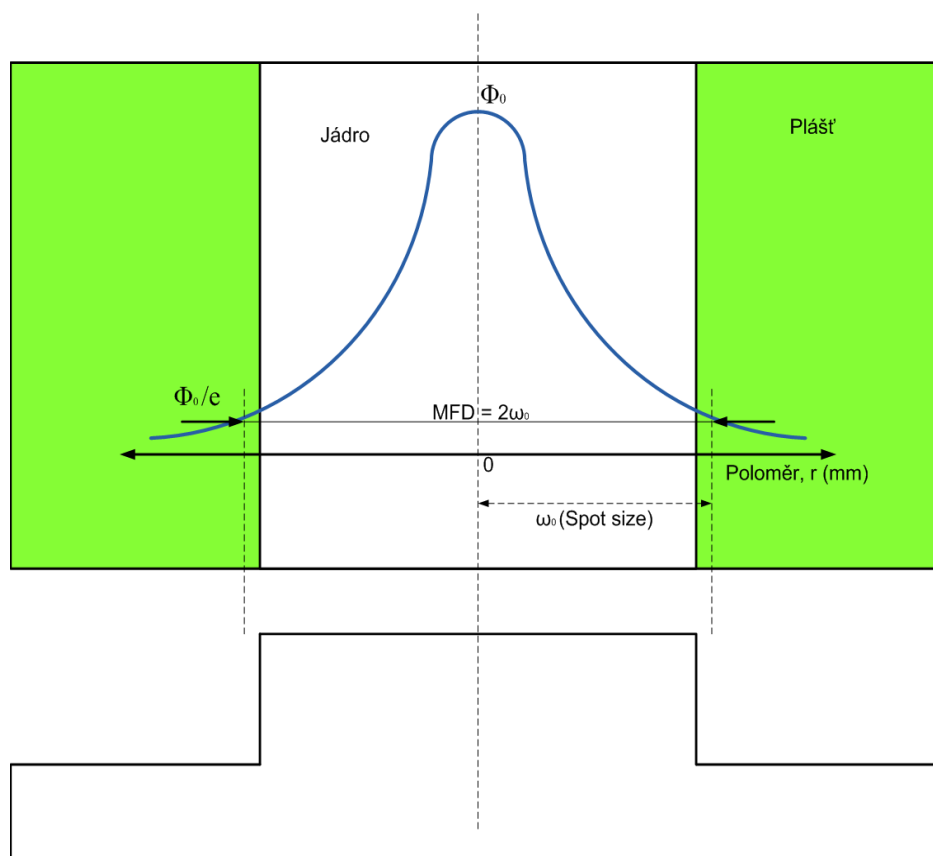
Obr. 4.5: Závislost konstanty b na normalizované frekvenci V .

4.2.2 MFD – průměr vidového pole

Jelikož má jádro jednovidového vlákna průměr $9\mu\text{m}$, tak při šíření světelného paprsku na prostředí jádra a pláště, se část šíří i tzv. evanescentní vlnou. Proto mají jednovidová vlákna velký průměr pláště a u takových vláken určujeme průměr vidového pole neboli MFD (Mode Field Diameter). Tento parametr je velice důležitý při svařování vláken s rozdílným MFD, kdy se útlum, na takovémto svaru zvýší.

Zavádí se vlnová délka λ_c , která určuje mezní vlnovou délku pro jednovidový režim.

$$\lambda_c = \frac{\pi * d * NA}{2.405} \quad (4.14)$$



Obr. 4.6: MFD (průměr vidového pole).

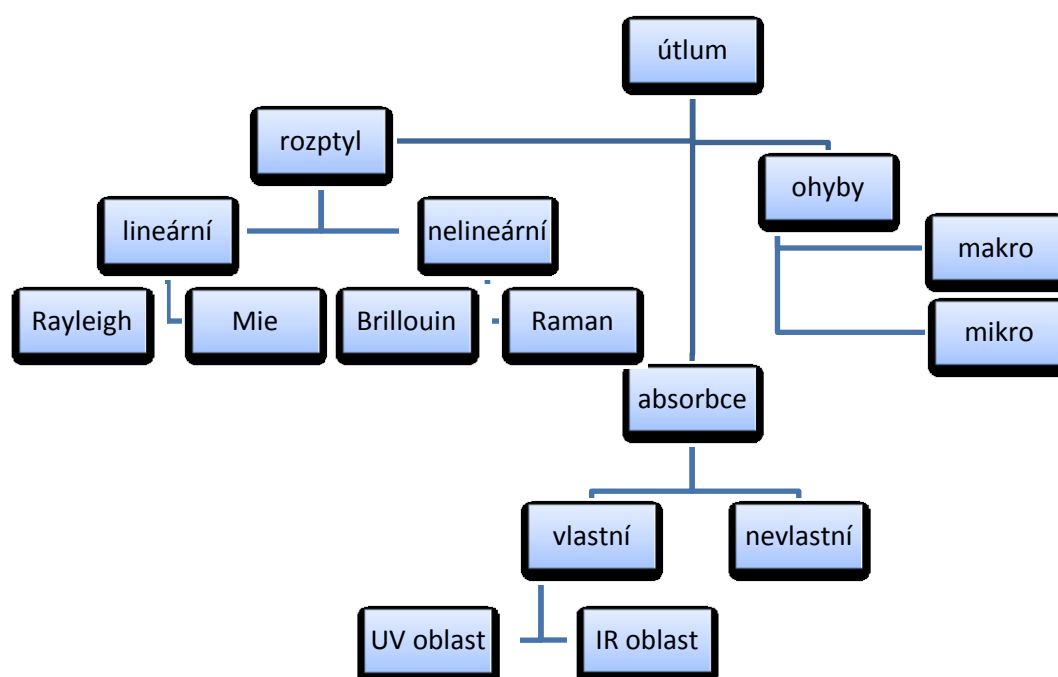
Z normalizované frekvence jsme již schopni vypočítat ω_0 neboli **spot size**. Spot size neboli rádius vidového pole je nominální polovina šířky vstupního budícího signálu.

$$\omega_0 = d * \left[0,65 + 0,434 * \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^{\frac{3}{2}} + 0,0149 * \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^6 \right] \quad (4.15)$$

$$\text{MFD} = 2 * \omega_0 \quad (4.16)$$

Numerická apertura se počítá stejně, jako u mnohovidových vláken viz kap. 4.1.3. Stejně tak další parametry jako útlum, maximální překlenutelná vzdálenost apod.

4.3 Ztráty v jednovidových a mnohovidových vláknech



Obr. 4.7: Diagram ztrát vznikajících na vláknech.

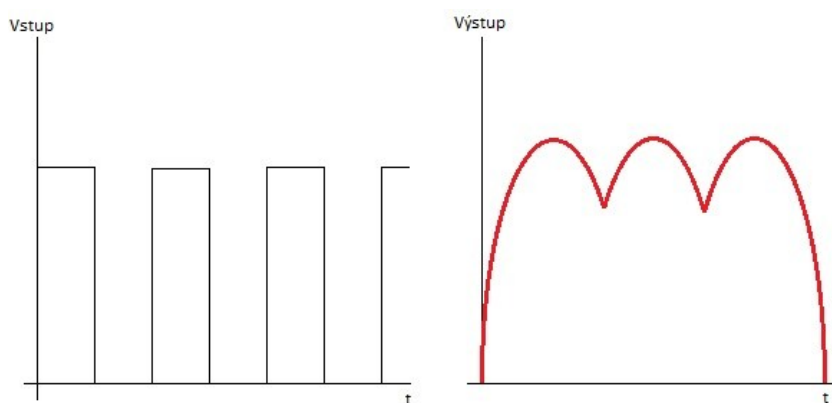
4.3.1 Disperze

Disperze je příčinou zkreslení přijímaného signálu. Odlišuje se disperze vidová, chromatická a polarizační.

– Vidová disperze

Vidová disperze se projevuje v mnohovidových vláknech a u vláken se skokovou změnou indexu lomu. U gradientní změny indexu lomu vlákna se vidová disperze neprojevuje z důvodu výrobní metodiky tohoto typu vláken. Každý paprsek dorazí díky rozdílným délkám drah na konec vlákna v rozdílných časových okamžicích. Impulzy na výstupu jsou od vstupních impulzů odlišné tvarem i amplitudou.

Tento jev se projevuje při přenosu dat na velké vzdálenosti ($l > 1\text{km}$). Dochází k tomu, že jednotlivé paprsky nejsou přeneseny od začátku až na konec ve stejném časovém sledu. Tento typ disperze působí na tvar impulsu takovým způsobem, že když na vstup vlákna přivedeme signál, s obdélníkovým průběhem na výstupu dostaneme širší signály, které se překrývají.



Obr. 4.8: Ukázka projevu disperze u mnohovidového vlákna při vstupním obdélníkovém signálu.

– Chromatická disperze

Používané zdroje záření nejsou ideálně monochromatické, ale vyzařovaná optická radiace obsahuje spektrum vlnových délek. Každá složka tohoto spektra má ve vláknu různou rychlost šíření, s vlnovou délkou se mění index lomu. To způsobuje, že na konec vlákna dorazí jednotlivé spektrální složky v jiném okamžiku.

U standardních jednovidových vláken je chromatická disperze v oblasti 1310nm nulová a na 1550nm je taková, že může omezovat přenosovou rychlost nebo vzdálenost.

Chromatická disperze se v podstatě do nedávna neměřila. Potřeba jejího měření začala se vzrůstající potřebou přenosových kapacit a nástupem systémů, jež používají DWDM. Jelikož se v DWDM šíří najednou více spektrálních složek signálu, tak některé ze složek dorazí na konec vlákna v jiný časový okamžik a někdy dojde i k rozšíření jejich pulsů. Velikost chromatické disperze optického vlákna charakterizuje tzv. koeficient chromatické disperze [1].

$$D(\lambda) = \frac{d \cdot t_g(\lambda)}{d(\lambda)} \quad (4.17)$$

– Polarizační vidová disperze

Disperze projevující se u jednovidových vláken. Médiem se šíří jediný vid, který se šíří ve dvou vzájemně kolmých polarizačních rovinách. I nepatrná nesymetrie vlákna ať už způsobena při výrobě, mikro nebo makro ohybem způsobí šíření obou polarizací jinou rychlostí. To má za následek zkreslení signálu. Tato disperze začíná být důležitá při růstu přenosových rychlostí nad 2,5Ghz[10].

4.3.2 Ztráty absorpcí

V ultrafialové a viditelné oblasti jsou ztráty způsobeny přechody mezi atomární a v infračervené mezi molekulárními úrovněmi základního materiálu, příměsí a nečistot. Rezonancí iontů některých kovů je doprovázena tepelnými ztrátami. Při rezonanci iontů OH, které tvoří hlavní podíl ztrát,

odpovídá $\lambda=2800\text{nm}$. Tato vlnová délka je mimo rozsah používaného pásma, avšak druhá harmonická ($\lambda=1380\text{nm}$) a třetí harmonická ($\lambda=940\text{nm}$) spadají do oblastí využívaných pásem[1].

4.3.3 Ztráty vyzařováním

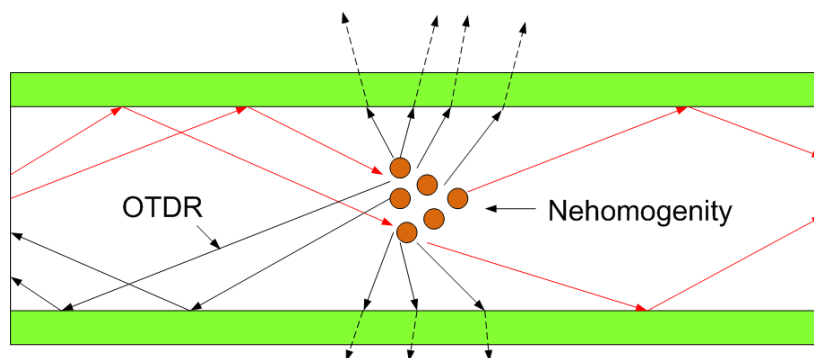
Jsou způsobeny lomem šířících se paprsků na rozhraní dvou dielektrických prostředí s různými vlastnostmi, při němž část energie proniká z jádra ven[1].

4.3.4 Ztráty rozptylem

Další skupinou materiálových ztrát jsou ztráty rozptylové. V optických vláknech se především uplatňuje Rayleighův rozptyl, tedy rozptyl na nehomogenitách rozměrově menších než je vlnová délka optického záření. Tento fyzikální jev se objevuje v každém optickém prostředí a nelze jej žádným způsobem odstranit. Ztráty Rayleighovým rozptylem představují teoretickou minimální mez útlumu, jsou nepřímo úměrné čtvrté mocnině vlnové délky záření a lze je tedy popsat vztahem viz 4.19.

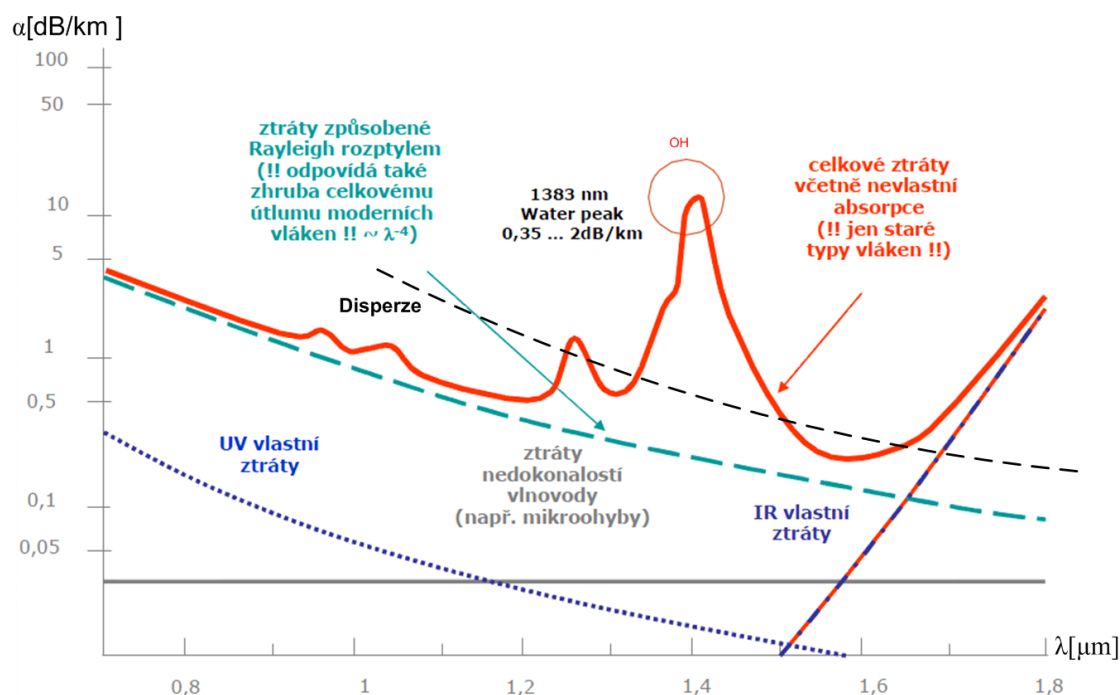
$$\alpha_R = \frac{C_1}{\lambda^4} \quad (4.18)$$

Kde C_1 je koeficient Rayleighova rozptylu, jehož hodnota je závislá na složení materiálu skla. U čistého křemenného skla je $C_1 = 0,802 \cdot 10^{-21} \text{ dB/m}^3$. Na nehomogenitách větších než je desetina vlnové délky se uplatňuje Mieův rozptyl, který většinou lze odstranit technologicky.



Obr. 4.9: Rayleighův rozptyl na nehomogenitách.

Od nehomogenit se mohou paprsky odrážet zpět ke zdroji záření. Na tomto principu zpětného odrazu je založen princip měření optických tras metodou OTDR.



Obr. 4.10: Charakteristika znázorňující ztráty v optickém vlákně v závislosti na vlnové délce.

Brillouinův rozptyl

- Je vyvolán podélnou akustickou vlnou vzniklou elektrostrikcí a rozptýlená vlna je spektrálně posunuta o cca 10GHz. Jeho velikost závisí na úhlu rozptylu, maximum energie je rozptýleno ve zpětném směru. Brillouinův rozptyl je zvláště významný pro signály s úzkou šířkou čáry, a proto je tento jev možné účinně potlačit snížením koherentní délky signálu, neboli rozšířením spektra signálu [1].

Ramanův rozptyl

- Podstatou je vzájemná interakce světla šířícího se v určitém prostředí s tímto prostředím, jejímž důsledkem je frekvenční posuv. Rozptýlená světelná vlna se šíří oběma směry. Kritický výkon závisí opět na materiálu a dále na počtu, středním výkonu a vzájemném odstupu optických kanálů. Na praktické využití Ramanova v telekomunikacích bylo třeba

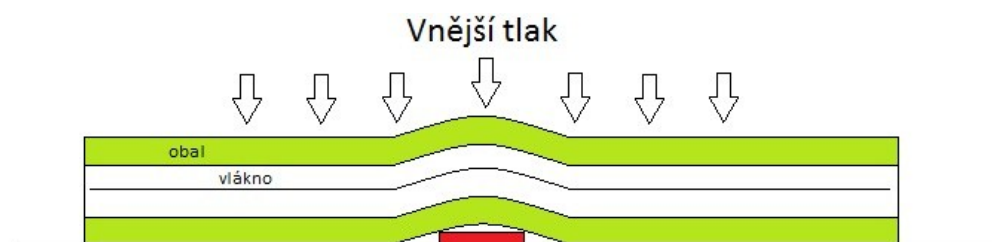
počkat až do poloviny 80. Let, kdy výzkum stimulovaného Ramanova jevu vyústil v jeho praktické nasazení jako zesilujícího prvku, v prostředí jednovidových vláken [1].

4.3.5 Ztráty ohybem

Tyto ztráty jsou způsobené ohybem přenosového média a tím narušují podmínku totálního odrazu.

Mikroohyby

- Mikroohyby jsou způsobeny malými nedokonalostmi povrchu jádra, které mohou vést k přelévání energie mezi sousedními vidy - vidová vazba. Mikroohyby ovlivňují obzvláště jednovidová vlákna. Tyto ztráty mohou být způsobeny i nedokonalostí při výrobě.
- Dalším faktorem vzniku mikroohybů je působení vnějšího tlaku na vlákno. Také špatná technologie pokládky optického kabelu.

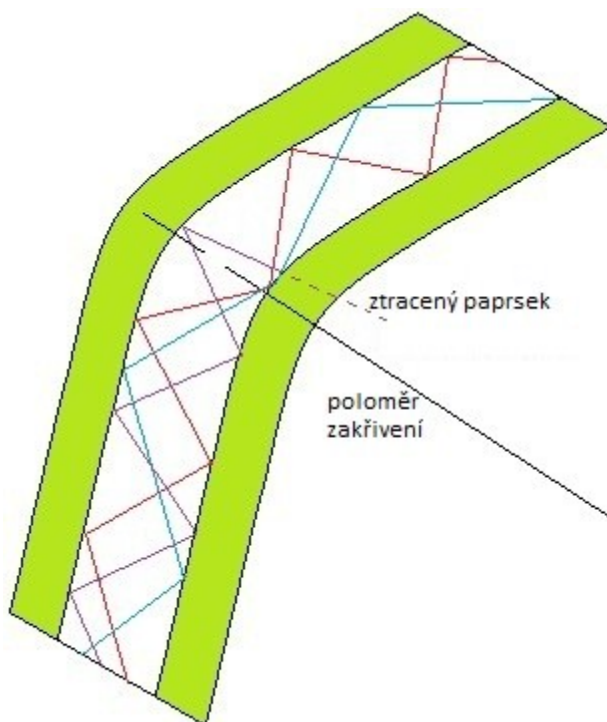


Obr. 4.11: Mikroohyb jednovidového vlákna.

Makroohyb

- Tyto ztráty způsobuje ohýbání vláken při pokládce, kde se překročí povolený poloměr ohybu. Tento ohyb ovlivňuje průměr jádra daného vlákna. Maximální povolený limit je pro každé vlákno jiný a je vždy uveden výrobcem, nebo standardem vztahujícím se na specifický typ vlákna. Pro krátkodobou pokládku se uvádí maximální míra ohybu 100krát větší než je průměr jádra a u dlouhodobé je to pak zhruba 150krát větší než průměr jádra.

- Při šíření vidů ve vlákně může dojít k situaci, kdy vid odražený v ohybu vlákna poruší mezní hodnotu úhlu šíření a vyváže se ven z vlákna.



Obr. 4.12: Makroohyb u mnohovidového vlákna se skokovou změnou indexu lomu.

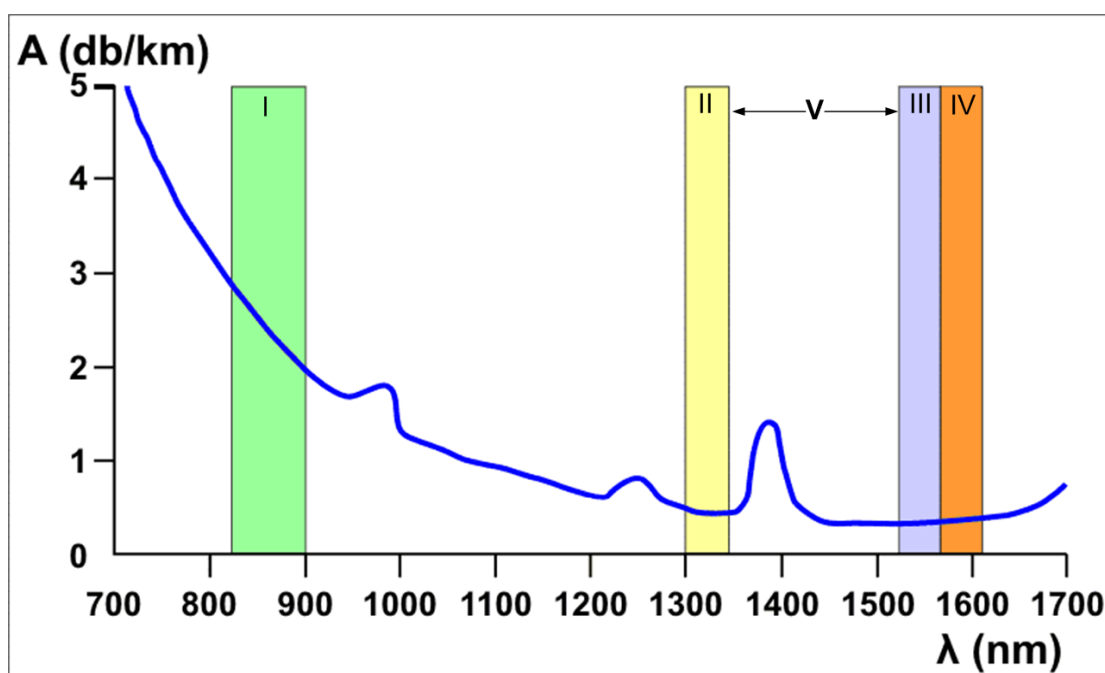
- U jednovidových vláken, část vidu nacházející se na vnější straně ohybu vlákna, by se musela šířit větší rychlostí než je rychlost světla. To samozřejmě není možné, a proto nesplňuje podmínku vedení světla ve vlákně a část energie je vyvázána ven z vlákna. Velikost ztracené energie závisí na velikosti ohybu.

4.3.6 Ztráty vlivem okolní teploty

Při velkém mrazu, nebo vysoké teplotě vykazují vlákna ztráty. Na příklad při teplotě (-30°C), jsou ztráty na vláknech okolo 2dB/km. Je to způsobeno pohybem molekul skla, které se při nízké teplotě pohybují příliš pomalu a naopak při vysokých teplotách se rozkmitají na tolik, že způsobí nárůst útlumu ve vlákně [1].

4.4 Přenosová Okna

Útlumová charakteristika křemíkových optických vláken vykazuje několik vrcholů a mezi nimi jsou úseky s nižším útlumem, kterým se říká přenosová okna. Podle ITU-T jsou definována tato okna (pro jednovidové vlákno):



Obr.4.13: Útlumová charakteristika křemíkových optických vláken

- I. **okno (850nm)** – spadá do mnohovidového šíření. Útlumová charakteristika je zde silně klesající a dosahované hodnoty měrného útlumu jsou pro použití ku příkladu v dálkových přenosech příliš vysoké. Tyto vlnové délky se využívají v optických přístupových sítích [1].
- II. **okno (1280 – 1335nm)** – Toto okno je využíváno pro dálkové přenosy. Jedná se o první historicky použitelné okno pro dálkový přenos na jednovidovém vlákne s průměry 9/125 μ m. Typicky dosahuje hodnota měrného útlumu pod 0,35dB/km [1].

- III. **okno (1530 – 1565nm)** – Využití nalézá v transportních a globálních sítích. V tomto okně lze u standardního křemíkového vlákna naměřit nejnižší měrný útlum 0,19 – 0,22 dB/km [1].
- IV. **okno(1565 – 1625nm)** - Liší se útlumovými parametry od 3.okna jen minimálně. Právě pokrok v technice WDM a zesilovačů dovoluje spojit 3 a 4 okno a tím zvětšit přenosovou kapacitu takřka na dvojnásobek [1].
- V. **okno(1335 – 1530nm)** – Je dostupné od 90.let, kdy byly zvládnuty techniky optického vlákna, eliminující příměsi OH natolik, že se ztrácí lokální maximum útlumu na 1380nm. Spojením 2-5 přenosového okna vznikne souvislý přenosový kanál šířce pásma až 50 THz [1].

4.5 Rozdělení dle ITU-T G.65X

Certifikační instituce ITU-T vydává mnoho standardů týkajících se telekomunikací. Standardy pro optické vlákna jsou vydávány pod označením G.65x a to pro mnohovidová G.651 a pro jednovidová G.652-G.657. V následujících podkapitolách budou rozebrány vlastnosti optických vláken dle těchto ustanovení, které mají přímý vliv na útlum optické trasy.

4.5.1 G.651

Mnohovidová vlákna s průměrem jádra 50μm, 62,5μm a pláště 125μm. V případě G.651 jsou myšlená vlákna používaná pro lokální přístupové sítě. Nejčastější využití těchto vláken je pro optické rozvody v budovách apod. viz tab.4.1. Standard byl naposledy aktualizován 07/2007.

Průměr pláště	120μm ± 2μm	
Průměr jádra	50μm ± 3μm	
Numerická apertura	0,2	
Makroohybové ztráty	Rádus	15mm
	Počet otáček	2
	850nm	1dB
	1300nm	1dB
Šířka pásma	850nm	500Mhz
	1300nm	500Mhz
Měrný útlum	850nm	3,5dB/km
	1300nm	1dB/km

Tab.4.1: G.651[13].

4.5.2 G.652

Standardní optické jednovidové vlákno 9/125 μm , které je také někdy dle specifikací firmy Corning označováno zkratkou USF (Unshield Fiber). Tato vlákna jsou nazývána Matched Cladding (MC), vzhledem k typické skokové změně indexu lomu na rozhraní jádra a pláště vlákna [1].

Specifikací tohoto standardu jsou hned 4 typy SM vláken a to A, B, C a D. Poslední aktualizace je z roku 2005.

		A	B	C	D
MFD	1310nm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm	125 μm	125 μm
Makroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100	100	100
	1550nm, 1625nm	0,1dB	0,1dB	0,1dB	0,1dB
Měrný útlum	1310nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	1550nm	0,3 dB/km	0,35 dB/km	0,3 dB/km	0,3 dB/km
	1625nm	-	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km

Tab.4.2: G.652 [14].

4.5.3 G.653

Byla vyvinuta s cílem potlačení chromatické disperze pro vlnovou délku 1550 nm. Tato vlákna se označují jako vlákna DSF (Dispersion Shifted Fiber). Použití je hlavně u vyšších přenosových rychlostí na velkých vzdálenostech s jedinou provozovanou vlnovou délkou. S nasazením systému DWDM se zjistilo, že vlákna mají vedlejší efekt. Ten spočívá v překrývání jednotlivých vlnových délek a vytváření vedlejších parazitních kanálů a přeslechů.

		A	B
MFD	1550nm	7,8-8,5 μm	7,8-8,5 μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm
Makroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100
	1550nm	0,1dB	0,1dB

Měrný útlum	1310nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	1550nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km

Tab. 4.3: G.653 [15].

4.5.4 G.654

Speciální varianta vláken G.652. Tato vlákna jsou optimalizována pro co nejnížší vložný útlum v pásmu 1550 nm a mají posunutou mezní vlnovou délku. Kvůli své vysoké ceně se využívají výhradně k dálkovým přenosům bez zesilovacího zařízení např. pro podmořské kabely [1].

		A	B	C
MFD	1550nm	9,5-10,5μm	9,5-10,5μm	9,5-10,5μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm	125 μm
Makroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100	100
	1625nm	0,5dB	0,5dB	0,5dB
Měrný útlum	1310nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	1550nm	0,22 dB/km	0,22 dB/km	0,22 dB/km

Tab. 4.4: G.654 [16].

4.5.5 G.655

Vlákna s posunutou nenulovou disperzí NZ-DSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber) jsou optimalizována pro přenosovou oblast v pásmu 1550nm. Tato vlákna se dnes používají především v dálkových optických sítích a na rozdíl od G.653 nemají nulovou disperzi pro 1550nm. Díky malé nenulové disperzi se zde neprojevují tolik nelineární vlivy a jsou proto vhodná pro DWDM technologii ve vysokorychlostních přenosových sítích.

		C	D	E
MFD	1550nm	8-11μm	9,5-10,5μm	9,5-10,5μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm	125 μm
Makroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100	100
	1625nm	0,5dB	0,1dB	0,1dB
Měrný útlum	1550nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km	0,35 dB/km
	1625nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km

Tab. 4.5: G.655 [17].

4.5.6 G.656

S NZ-DSF jsou optimalizovaná pro oblast v rozsahu 1460-1625 nm. Tato vlákna jsou speciálně vyhrazena pro užití v systémech DWDM a CWDM. V pásmu S umožňují systému DWDM až 40 kanálů.

MFD	1550nm	7 -11μm
Průměr pláště		125 μm
Makroohybové ztráty	Rádus	30mm
	Počet otáček	100
	1625nm	0,5dB
Měrný útlum	1480nm	0,4 dB/km
	1550nm	0,35 dB/km
	1625nm	0,4 dB/km

Tab. 4.6: G.656 [18].

4.5.7 G.657

G.657.A – používá se pro vnitřní rozvody optických přístupových sítí

G.657.B – nový typ vlákna odolný proti makroohybům do poloměru 5mm

		A				
MFD	1310nm	8,6-9,5μm				
Průměr pláště		125 μm				
Makroohybové ztráty	Typ	A1		A2		
	Rádus	15	10	15	10	7,5
	Počet otáček	10	1	10	1	1
	1555nm [dB]	0,25	0,75	0,03	0,1	0,5
	1625nm [dB]	1	1,5	0,1	0,2	1
Měrný útlum	1310,1625nm	0,4 dB/km				
	1550nm	0,3 dB/km				

Tab. 4.7: G.657.A [19].

		B					
MFD	1310nm	6.3-9,5μm					
Průměr pláště		125 μm					
Macroohybové ztráty	Typ	B2			B3		
	Rádus	15	10	7,5	10	7,5	5
	Počet otáček	10	1	1	1	1	1
	1555nm [dB]	0,3	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15
	1625nm [dB]	0,1	0,2	1	0,1	0,25	0,45
Měrný útlum	1310,1625nm	0,5 ; 0,4 dB/km					
	1550nm	0,3 dB/km					

Tab. 4.8: G.657.B [19].

5 Spojky, svary a konektory

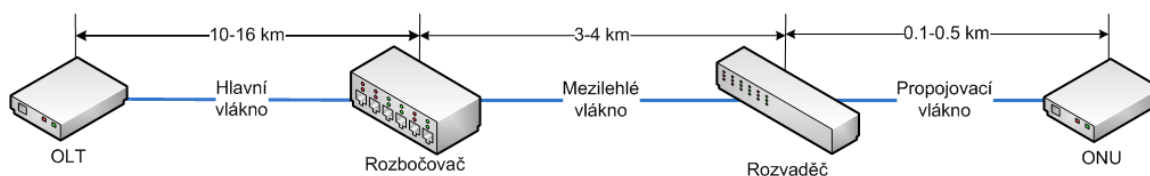
Výhodou svařování je nižší hodnota vložného útlumu svarů než spojky, spoj však již není rozebíratelný. Základní otázkou při svařování dílčích úseků optických tras je správné rozvržení vzdálenosti jednotlivých svarů. To je dáno zejména geografickými podmínkami dané lokality, výrobní délkou optického vlákna, ekonomickými náklady a umístěním daného úseku.

Typy spojů:

- **Rozebíratelné** – skupina spojů realizovaná konektory. Umožňující opakovatelné spojení a rozpojení vláken bez poškození spoje.
- **Podmínečně rozebíratelné** – jsou to mechanické spoje s možností rozebrání, ale nedoporučuje se to z hlediska kvality spoje. Obvykle se jedná o mechanické spojky.
- **Nerozebíratelné** – mezi nerozebíratelné spoje patří zejména svařovaná vlákna. Ty vykazují zdaleka nejlepší hodnoty útlumu na spojích dvou vláken. Jedinou nevýhodou oproti konektorovým spojmům jsou náklady na zařízení. Cena svářecích přístrojů optických vláken je vysoká a pohybuje se kolem několika set tisíc korun.

5.1 Svary

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější provádět svařování pro co nejdelší části vlákna, na druhou stranu je potřeba vzít v úvahu problémy při pokládce příliš dlouhých úseků. Doporučené vzdálenosti jednotlivých spojů u přívodního (hlavního) vlákna typicky 4 nebo 6 km, 2 nebo 4 km pro mezilehlé vlákno a ideálně žádný svar pro krátké připojovací vlákno.



Obr. 5.1: Příklad přenosové trasy [2].

5.1.1 Svařování a lepení vláken

Tzv. trvalé spoje jsou používány zejména u komunikací na velké vzdálenosti, kde vyžadujeme minimální útlum a kde je jisté že se nebudou vlákna často rozebírat. Trvalé spoje dělíme na přímé a nepřímé.

Přímé

Toto spojování vláken se provádí buď pomocí pryskyřicových lepidel (tento způsob se v telekomunikacích nepoužívá), nebo svařováním.

U svařování dvou vláken musíme dodržet určitá pravidla, abychom dosáhli co nejmenšího útlumu na spoji. V případě profesionálních svarů se jedná o útlumy i pod 0,05dB.

1. čela vláken musí být co nejpřesněji kolmo zalomena
2. spoje a nejbližší okolí vláken musí být dokonale čisté
3. jádra vláken musí mít stejný průměr a středy jader ve stejné ose
4. pro svařování samotné musí být dodržena správná teplota

Svařovací technika pro optická média je přenosná a umožňuje svařování vláken přímo v terénu. Každé vlákno optického kabelu je svařeno a zapouzďeno samostatně a pro svařování vláken se používají 3 druhy svařovacích technik. Pro zpevnění svařovaného místa se používají speciální teplem smršťující bužírky s drátěnou výztuhou.

1. svařování speciálním mikrohořákem
2. svařování elektrickým obloukem (v praxi nejběžněji využívaná technika)
3. svařování laserem

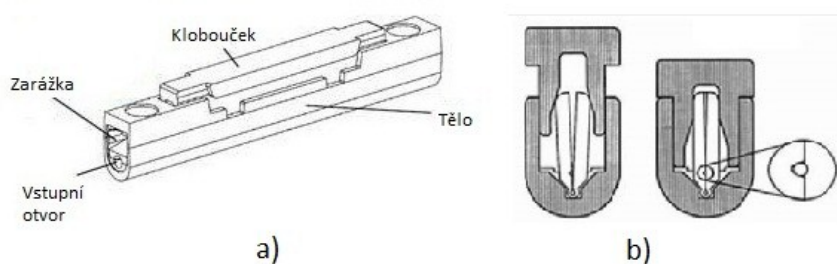
Nepřímé

Tento způsob je založen na několika principech. Nejběžnější z nich spočívá v tom, že se upravené konce vláken vloží do skleněné objímky a tam se slepí epoxidovým lepidlem. U pevných spojů nepřímou technikou se využívají přídavné zařízení, které zlepšují vlastnosti spojů. Nejběžněji využívanou technikou je tzv. (V) drážka požívaná i u rozebíratelných spojů [6].

5.2 Spojky

Dalším způsobem jak se v praxi spojují vlákna, je tzv. mechanické spojení. Toto spojení je provedeno jednoduchým zasunutím odizolovaných vláken do kapilárky, kde bývá gel s indexem lomu blízkým indexu lomu jádra. Díky tomu se výrazně zmenší útlum odrazu.

Jako příklad mechanického spojování vláken je spojka FibrLok společnosti 3M viz obr. 5.1. Fibrlok je určena pro rychlé spojování jednovidových a mnohovidových optických vláken o průměru 125 μm s průměrem primární ochrany 250 – 900 μm . Fibrlok je vyplněn speciálním gelem se stejným indexem lomu jako optické vlákno. Kvalitní spojení vláken je založené na mechanickém principu a vyznačuje se svou kvalitou, jednoduchostí, rychlostí a nízkou cenou.



Obr. 5.2:a) FibrLok b) Aretace vlákna.

Technické údaje:

- vlákno 125 μm , primární ochrana od 250 do 900 μm
- minimální doba životnosti 30 let
- střední vložný útlum méně než 0,1 dB, teoretický vložný útlum 0,1-0,3 (0,5) dB
- útlum zpětného odrazu 60 dB v rozsahu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, při uhlovém zalomení
- materiál termoplastická umělá hmota s přesným tvarovým prvkem ze slitiny hliníku
- pracovní teplota od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- teplotní cykly - změna vložného útlumu je menší než 0,1 dB při změnách teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- odolnost proti pronikání vody při působení $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ po 7 dní je změna vložného útlumu menší než 0,05 dB

5.3 Konektory

Konektory se používají pro připojení koncových optických zařízení, zejména optického linkového zakončení OLT, optických síťových a koncových jednotek ONU/ONT, nebo optického rozbočovače s konektory. Mezi důležité parametry konektorů patří kromě vloženého útlumu rovněž útlum odrazu ORL (Optical Return Loss). Optických konektorů existuje celá řada, jednotlivé typy jsou určeny pro specifické aplikace. Od každého typu konektoru bylo navrženo ještě navíc několik variant podle způsobu úpravy optické ferule.

Z celé řady konektorů, které existují ST, FC, SC, LC, MTRJ, MU apod. se nejčastěji používají konektory ST, SC, FC, E2000

Princip funkce konektoru spočívá v přesném navádění konců optických vláken přesně na sebe. Problém nastává ve způsobu mechanického upevnění optických vláken. Musí se dodržovat doraz vláken takový, aby nedocházelo ke kontaktu konců vláken, což by mohlo vést k odírání obou čel. Při spojování optických vláken je důležité zachovávat sousost jader obou vláken, tak aby nedošlo k velkému útlumu.

Útlum optického konektoru vyjadřuje ztráty optického výkonu způsobené zapojením konektoru do optické trasy. Příčiny těchto ztrát přitom mohou spočívat v nedokonalosti jednotlivých mechanických dílů konektoru nebo v nedokonalém opracování (broušení a leštění) konců vláken. Vede to k tzv. vnějším ztrátám, mezi něž patří zejména příčný posuv jader vláken, podélné oddálení nebo úhlová odchylka čelních ploch vláken nebo jejich špatná kvalita. Dále jsou zde i vnitřní ztráty, mezi které patří například excentricita jádro-plášť, fluktuace průměru nebo numerické apertury, nekruhovost jádra apod. [12].

Náš přední výrobce optických konektorů firma OPTOKON Co. Ltd. Jihlava, vyrábí různé druhy optických konektorů. Jedny z prvních konektorů byl konektor typu SMA.

5.3.1 Ferule

Jedná se o mechanickou část, která slouží k udržení zasunutého optického vlákna jako součásti konektorové soustavy [10].

Ferule se dá chápat jako část konektoru v přední části s nejpřesnějšími tolerancemi. Je vyráběná z kompozitních plastů, keramiky nebo kovu a broušená do požadovaného tvaru ručně nebo strojově. Nejčastějším typem zabroušení ferule je dnes PC, APC, NPC, UPC a SPC. Na dokonalosti zabroušení závisí vložný útlum konektoru a jeho útlum odrazu. Vláknem, které je naváděno do konektoru je za aretováno nebo přilepeno tak aby obnažená část vlákna uvnitř ferule příliš nepřesahovala nebo aby nebyla moc zapuštěna ve feruli. Spojovaná vlákna musí mít stejně jako u svařovaných vláken dokonale kolmé zakončení, pro co nejmenší vložný útlum a nejmenší útlum odrazu.

- **Aluminiová ferule** – křehký materiál, obtížné leštění, velká tepelná roztaživost
- **Zirkoniová ferule** – často používaný materiál, 4x větší pevnost než hliník, velmi dobré leštění, malé rozměry zrna keramiky, malé opotřebení otěrem
- **Plastová ferule** – nejlevnější, snadné leštění, větší útlum, nižší životnost
- **Kompozitní ferule** – nejlepší ferule, nejpřesnější, nejdražší, malé ztráty vložného útlumu
- **ARCAP ferule** – levná, snadné leštění, malé opotřebení otěrem, vysoká životnost



Obr. 5.3: Příklad zakončení ferulí.

Ferule	Zabroušení	Vložný A_{vl} [dB]	Útlum odr. A_{odr} [dB]
NPC	Kolmé	0,1-0,5	-14
PC	Sférické	0,1-0,3	-35
SPC	Sférické	0,1-0,3	-45
UPC	Sférické	0,1-0,3	-55
APC	Úhlové sférické	0,1-0,3	-65

Tab. 5.1: Typy ferulí.

5.3.2 Typy konektorů

- **Bionic** – jeden z prvních konektorů (1980), podporovaný firmou AT&T, kuželovitá ferule, vložný útlum 0,5 – 0,6 dB
- **SMA** – starší typ konektoru, nezajištěná ferule proti pootočení, alumíniová nebo ARCAP ferule, šroubovací převlečená matice
- **FC** - standart pro telekomunikace, keramická nebo kompozitní ferule. Vyvinut společností Amphenol Fiber Optic Products. Na přichycení konektoru k spojce používá závit. Na začátku 90. let to byl u nás asi nejpopulárnější a nejpoužívanější konektor pro instalaci SM vláken.



Obr. 5.4: Konektor typu FC.

- **ST** – standart pro telekomunikace, aretace proti pootočení ferule, odpružená ferule, bajonetový závěr, vložný útlum 0,2 – 0,3 dB. Vyvinutý společností AT&T. Koncem devadesátých let to byl u nás nejmasověji používaný konektor pro instalace převážně jednovlákových vláken. Dnes už používání těchto konektorů upadá [7].



Obr. 5.5: Konektor typu ST.

- **SC**- podporovaný AT&T, ISO/IEC11801, push-pull provedení, keramická ferule, vložný útlum 0,15 dB. Používá se jak pro mnohovidová, tak pro jednovidová vlákna. Posledních deset let je to u nás nejpoužívanější konektor pro instalace LAN s použitím mnohovidových vláken. Nejrozšířenější konektor pro použití s technologiemi 100Base-FX (fast Ethernet) [7].



Obr. 5.6: Konektor typu SC.

- **FDDI** – párový konektor pro síť FDDI, push-pull provedení, keramická nebo kompozitní ferule, vložný útlum 0,2dB [7].
- **ESCON** – obdoba FDDI, podporovaný IBM [7].
- **E2000** – evropský standard pro telekomunikace, vyvinutý firmou DIAMOND, provedení push-pull, vložný útlum 0,2dB. Asi nejstarší a nejznámější z těchto typů SFF konektorů (duplexní konektivita zabere prostor stejně velký jako RJ-45 a používá feruli o průměru 1,25 mm. Známy i pod názvem LX.5. Používá se jak pro MM, tak pro SM vlákna. Vypadá jako mini SC konektor a velmi snadno se s ním zachází díky jeho pojistnému klipu. Konektor obsahuje integrovanou krytku, která po vytažení zakryje feruli a chrání ji tak před prachem a poškrábáním [1].



Obr. 5.7: Konektor typu E2000.

- **LC** – podobný konektorům SC, menší rozměry. Vyrábí se v jednovidovém i mnohovidovém provedení. Typ duplex je srovnatelný s konektorem RJ45.
- **MT-RJ** – dvoj vláknový konektor, slučitelný s RJ45
- **MTP** – určený pro páskové kabely (4,6,12,24, 36 až 72 vláken)

Typ konektoru /spojky	Vložný útlum [dB]	ORL [dB]	Úpravy ferule
FC	0,5	65(APC), 50(UPC)	SPC/UPC/APC
ST	0,4	50	SPC
SC	0,2	65(APC), 50(UPC)	SPC/UPC/APC
E2000	0,2		SPC
FDDI	0,2		
MT array	0,3		
LC	0,15		
Svar	0,05		

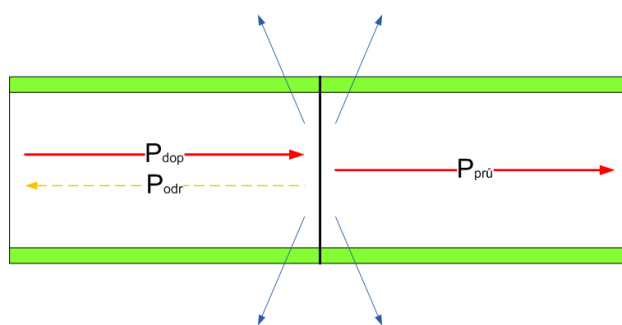
Tab. 5.2: Typické hodnoty útlumů pro různé typy konektorů a spojek.

5.4 Útlumy svarů, spojů a jejich výpočet.

Při spojování vláken se musejí dodržovat určitá pravidla, aby nedocházelo k velkým vložným útlumům a velkým útlumům odrazu.

5.4.1 Útlum spojení dvou vláken

Spoj lze také charakterizovat, jako energii ztracenou na daném spojení dvou vláken. Energie se pak může ztrácet formou radiačních vidů, částečně rozptýleným zářením nebo Fresnelovým odrazem.



Obr. 5.8: Spojení dvou vláken.

Vložný útlum

$$A_{vl} [\text{dB}] = 10 \log \frac{P_{dop}}{P_{prú}} \quad (5.1)$$

Útlum odrazu

$$A_{vl} [\text{dB}] = 10 \log \frac{P_{odr}}{P_{dop}} \quad (5.2)$$

Důležité u výpočtu Fresnelových ztrát je si uvědomit, že při konektorových spojích jsou odrazy hned dva a to vlákno-vzduch a vzduch-vlákno. Tento zbytečně velký útlum se dá redukovat použitím tzv. imerzního gelu, kterým se vyplňuje vzduchová mezera mezi spojovanými vlákny.

5.4.2 Fresnelův odraz – mezi vlákny je mikro mezera se vzduchovou kapsou.

Vložný útlum (Fresnel)

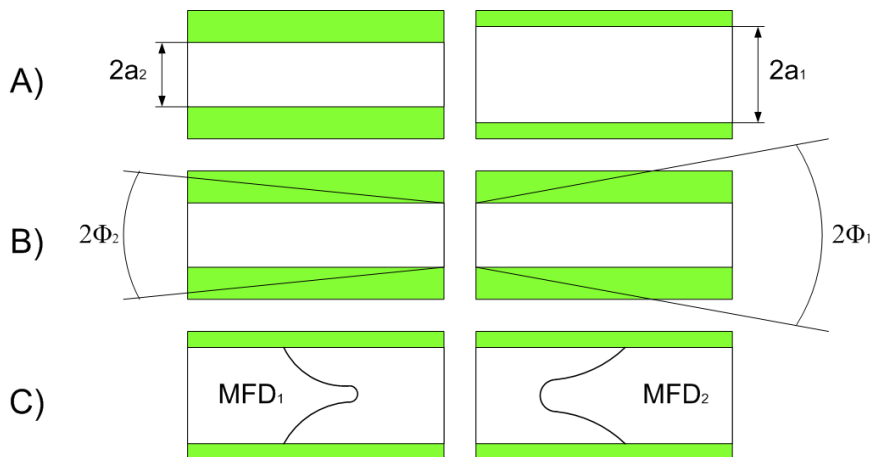
$$A_{vl} [\text{dB}] = 10 \log * 2 \left(\frac{n_{vl} - n_0}{n_{vl} + n_0} \right)^2 \quad (5.3)$$

Útlum odrazu (Fresnel)

$$A_{vl} [\text{dB}] = 10 \log \left[1 - \left(\frac{n_{vl} - n_0}{n_{vl} + n_0} \right)^2 \right]^{-2} \quad (5.4)$$

- n_0 – index lomu vzduchu
- n_{vl} – index lomu vlákna

5.4.3 Spojování vláken s různým MFD, NA a průměrem jádra



Obr. 5.9: Příklad spojení dvou vláken s různými vlastnostmi.

Obr. 5.9 a) znázorňuje spojení MM vláken s různými průměry jader. Když se spojují vlákna s průměrem větším - menším tak vzniká útlum na rozhraní vláken a část energie je ztracena nebo odražena. Naopak při spojování vláken s průměry menší - větší je útlum zanedbatelný a blíží se 0.

$$A_{\text{jadra}}[\text{dB}] = -10 * \log\left(\frac{a_2^2}{a_1^2}\right) \quad (5.5)$$

Přijímací vlákno[μm]	Vysílací vlákno [μm]		
	62.5/125	85/125	100/140
50/125	0,9 - 1,6 dB	3 - 4,6 dB	4,7 - 9 dB
62.5/125	-	0,9 dB	2,1 - 4,1 dB
85/125	-	-	0,9 - 1,4 dB

Tab. 5.3: Převodová tabulka pro mnohovidová vlákna různých průměrů jader.

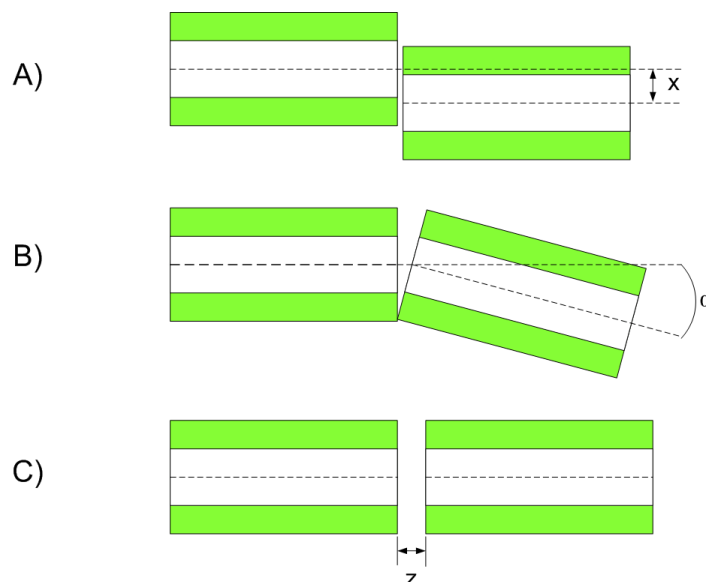
Obr. 5.9 b) dalším typem spojování s jinou NA vlákna. I v tomto případě platí, že pokud je NA_1 vlákna větší než NA_2 vlákna pak je útlum daný vzorcem (5.6). Pokud je tomu naopak a NA_1 je menší než NA_2 pak je útlum roven 0.

$$A_{NA}[\text{dB}] = 10 * \log \left(\frac{NA_1}{NA_2} \right)^2 \quad (5.6)$$

Obr. 5.9 c) posledním případem spojování vláken s jinými parametry je rozdílné MFD. Musíme ovšem zdůraznit, že o MFD se hovoří pouze ve smyslu se SM vlákny a to pak při svařování těchto vláken.

$$A_{MFD}[\text{dB}] = -10 \log \frac{4}{\left(\frac{MFD_2}{MFD_1} + \frac{MFD_1}{MFD_2} \right)^2} = 20 \log \frac{1}{2} \left(\frac{MFD_1}{MFD_2} + \frac{MFD_2}{MFD_1} \right) \quad (5.7)$$

Do této chvíle byly probírány případy, které mohou nastat, když budou spojována vlákna různých parametrů. Následující případy budou znázorňovat stavy, při kterých se spojují vlákna totožná, ale s chybně provedenou technikou spoje.



Obr. 5.10: Axiální, radiální a úhlový posun.

Obr. 5.10 a) Radiální nesouosost jader mnohovidových vláken.

- případ, při kterém dojde k vyosení jader spojovaných vláken vlivem mechanických spojení vláken

Pro mnohovidová vlákna s GI.

$$A_{\text{rad}}[\text{dB}] = -10\log\left(1 - \frac{8*x}{3\pi*a}\right) \quad (5.8)$$

Pro jednovidová vlákna.

$$A_{\text{rad}}[\text{dB}] = -10\log * e^{\left(\frac{-x}{\omega_0}\right)^2} \quad (5.9)$$

Obr. 5.10 b) Úhlový posun.

- nastane, když při spojování vláken dojde k naklonění jader oproti sobě o úhel α

Pro mnohovidová vlákna s GI.

$$A_{\text{hl}}[\text{dB}] = -10\log\left(1 - \frac{8n*\sin \alpha}{3\pi*NA}\right) \quad (5.10)$$

Pro jednovidová vlákna.

$$A_{\text{hl}}[\text{dB}] = -10\log * e^{-T^2} \quad (5.11)$$

$$T = \frac{n*\pi*\omega_0*\sin \alpha}{\lambda} \quad (5.12)$$

Obr. 5.10 c) Axiální posun.

- vzniká mezi vlákny při oddálení a vzniku vzduchové mezery

Pro mnohovidová vlákna s GI.

$$A_{\text{axial}}[\text{dB}] = -10 \log \left(1 - \frac{z \cdot \text{NA}}{2 \cdot a \cdot n} \right) \quad (5.13)$$

Pro jednovidová vlákna.

$$A_{\text{axial}}[\text{dB}] = -10 \log * \left(\frac{1}{S^2 + 1} \right) \quad (5.14)$$

$$S = \frac{\lambda \cdot z}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot \omega^0} \quad (5.15)$$

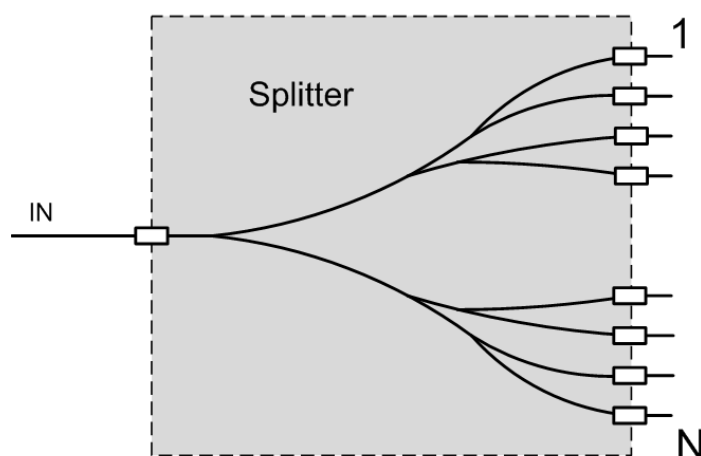
6 Pasivní optické rozbočovače

Pasivní optický rozbočovač (splitter) slouží k rozbočení přenášeného optického signálu ve směru od optického linkového zakončení OLT k síťovým a koncovým jednotkám ONU/ONT a pro navázání jednotlivých optických signálů od koncových jednotek ONU/ONT do společného vlákna v opačném směru. Umožňují vytvoření potřebné rozvětvené struktury a připojení požadovaného počtu koncových uživatelů do jedné optické sítě. Základním parametrem rozbočovače je jeho rozbočovací poměr, který se nejčastěji udává jako 1:N a který definuje počet výstupů rozbočovače (N). Samotný proces rozbočení je realizován čistě pasivním způsobem pomocí Y-článků, které mohou být buď v provedení krátkých vzájemně svařených optických vláken (levnější a častější způsob), nebo vyrobeny planární technologií na substrátu křemíku (speciální využití s ohledem na malé rozměry) [2].

6.1 Výroba rozbočovačů

6.1.1 PLC – Planar Lightwave Circuit

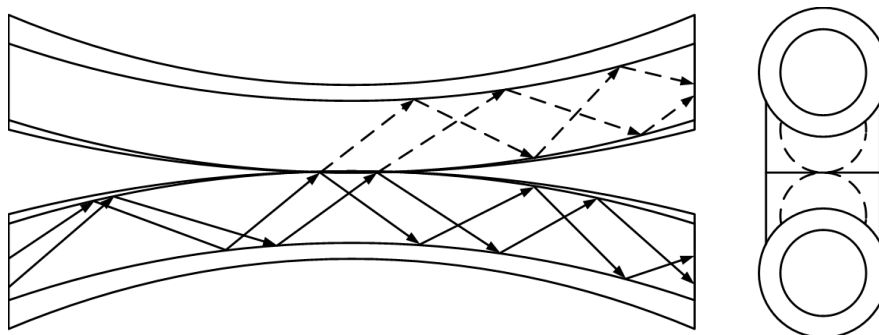
Jsou vyráběny planární technologií. Používá se na rozbočovače s větším počtem výstupních portů. Technologickým postupem je na křemíkovém substrátu možné vyrobit požadovanou strukturu a dosáhnout tak až 128 výstupních portů.



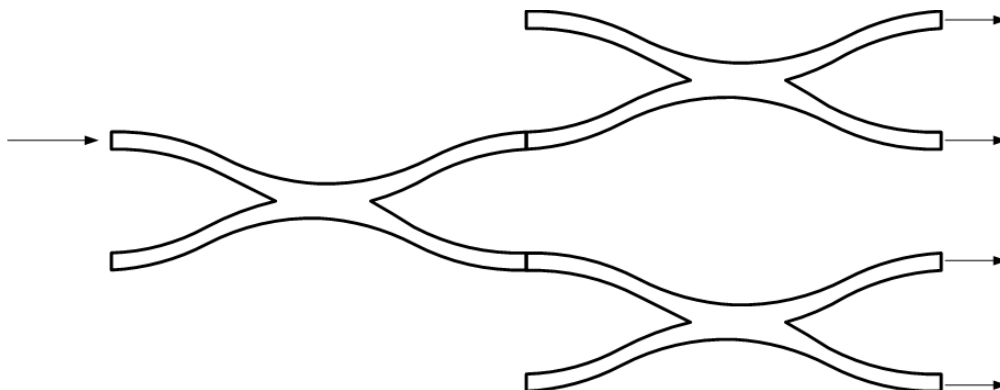
Obr. 6.1: Rozbočovač vyrobený planární technikou.

6.1.2 FBT – Fused Bionic Taper

Výroba spojováním optických vláken při vysoké teplotě a tlaku, kdy se pláště nataví a jádra vláken se dostanou velmi blízko k sobě viz obr.6.2. Pro dosažení většího rozbočovacího poměru se pak svazky řadí přímo za sebe viz obr.6.3.



Obr. 6.2: Příklad šíření signálu z jednoho jádra do druhého.

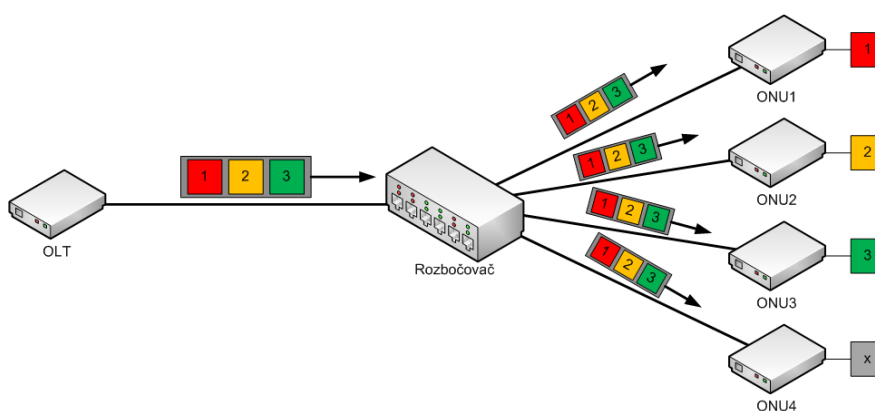


Obr. 6.3: Kaskádové řazení článků.

Pro realizaci požadovaného rozbočovacího poměru se kaskádně navazují základní Y-články za sebe, vznikají tak rozbočovače s počtem výstupů v mocnině 2. Typické rozbočovače pro pasivní optické sítě dosahují rozbočovacího poměru 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 a 1:64 (1:128).

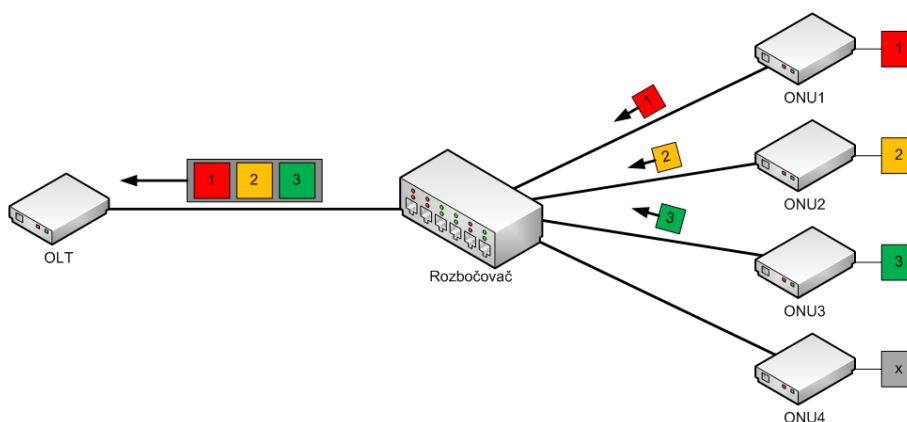
6.2 Funkce rozbočovače

Podívejme se na funkci rozbočovače i z hlediska rozesílání signálů v obou směrech (vzestupném i sestupném). V sestupném směru, jsou jednotkou OLT vysílány časové multirámce, ve kterých jsou díky použití časového multiplexu TDM zařazeny pakety, pro jednotlivé koncové jednotky. Pasivní rozbočovač přijímá z OLT multirámce, které následně přeposílá do všech ONU/ONT. V jednotkách ONU a ONT jsou pak speciální rozhraní filtrující jednotlivé rámce podle MAC (Media Access Control) adresy daného zařízení viz obr.6.4.



Obr. 6.4: Ukázka posílání rámců ve směru sestupném (download).

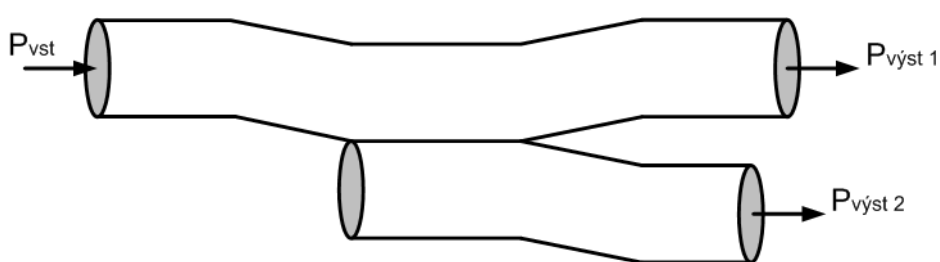
V opačném směru tedy ve směru vzestupném každá ONU vysílá své rámce do rozbočovače. Ten následně tyto rámce s časovými mezerami opět spojí a odesílá do OLT. V tomto plní rozbočovač funkci tzv. slučovače, který naváže rámce všech ONU/ONT jednotek do hlavního vlákna technologií TDMA.



Obr. 6.5: Ukázka posílání rámců ve směru vzestupném (upload).

6.3 Útlum rozbočovače

Důležitým parametrem rozbočovače je hodnota vloženého útlumu, která představuje jeho celkový útlum. Je tvořena součtem útlumu dělení (A_D) a zbytkovým útlumem (A_Z). Útlum dělení vychází ze ztráty části přenášeného optického signálu díky jeho rozdělení do více výstupů rozbočovače, je tedy závislý na rozbočovacím poměru 1:N [2].



Obr. 6.6: Y-článek optického rozbočovače.

$$A[\text{dB}] = A_D + A_Z \quad (6.1)$$

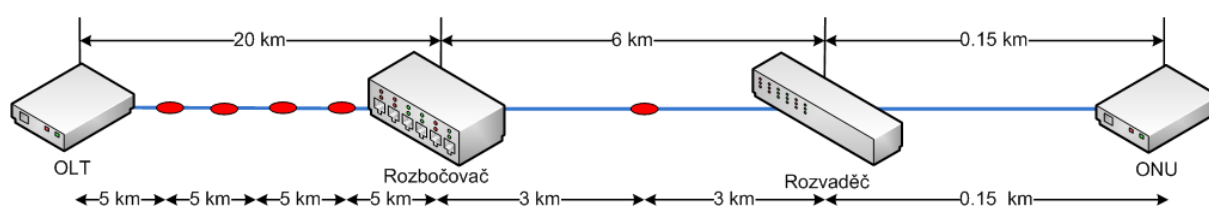
$$A_D[\text{dB}] = 10 * \log (N) \quad (6.2)$$

Rozbočovací poměr (1:N)	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Útlum rozbočovače [dB]	3,9	7,4	10,8	14,1	17,3	18,5	21,7

Tab. 6.1: Tabulka útlumů pro různé poměry rozbočovačů.

7 Příklad útlumové kalkulace

V útlumové kalkulaci musejí být zahrnuty útlumy všech pasivních optických prvků na trase od ONT k ONU. Tento příklad demonstruje výpočet celkového útlumu pro jednoduchou PON s jedním rozbočovačem a jedním rozvaděčem na trase mezi ONT a ONU.



Obr. 7.1: Zadaná topologie sítě pro výpočet útlumové bilance.

1 Útlum vlákna

- nejdůležitějším parametrem při volbě typu vlákna jsou kladené požadavky na přenosovou trasu, vzdálenost a zejména využívaná vlnová délka v tomto případě ($\lambda=1550\text{nm}$). Volíme vlákno SM, a podle doporučení ITU-T G.652 bylo zvoleno vlákno typu B.
- ITU-T G.652 specifikuje měrný útlum:

$$\alpha_A = 0,35 \frac{\text{dB}}{\text{km}}$$

2 Útlum konektorů

- jako konektory k OLT a ONU jsou použity konektory ST
- ITU-T uvádí vložný útlum na těchto konektorech 0,4dB

$$A_K = 2 * 0,4 = 0,8 \text{ dB}$$

3 Útlum rozvaděče

- tento vložný útlum je dán konstantní velikostí

$$A_R = 0,5 \text{ dB}$$

4 Útlum rozbočovače

- u rozbočovačů je vložný útlum závislý na zbytkovém útlumu (A_Z) a útlumu dělení (A_D). Nejdůležitější složkou je útlum dělení, který jak je jistě patrné z názvu, závisí na dělicím poměru rozbočovače. V zadané topologii je použit rozbočovač 1:64.
- z tabulky, kterou vydalo konsorcium ITU-T je pro rozbočovač 1:64 a to i s konektory útlum viz kap.6.3

$$A_{RZ} = 18,5 \text{ dB}$$

5 Útlum na svarech

- svar má útlum 0,05dB v našem případě je celá trasa rozdělená na 3 úseky

1 přívodní vlákno: (počet svarů) $n=4$

2 mezilehlé vlákno: $n=2$

3 připojovací vlákno $n=0$

Celkem $n=6$ svarů.

$$A_S = 0,05 * 6 = 0,3 \text{ dB}$$

6 Útlumová rezerva

- je to tolerance prostředí působícího na vlákno (teplota, tlak, vlhkost)

$$A_t = 0,5 \text{ dB}$$

7 Celkový výpočet útlumu pro zadanou topologii

- je to vlastně součet všech útlumů

$$A = A_K + (l_1 + l_2 + l_3) * \alpha_A + A_{RZ} + A_R + A_S + A_t = 29,2525 \text{ dB}$$

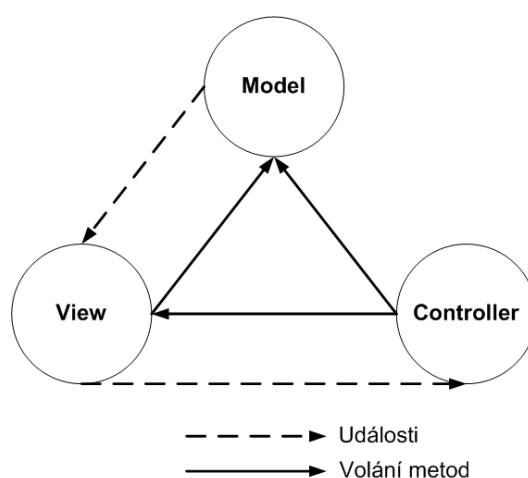
Podle výsledného útlumu je takto zvolená topologie vhodná pro síť typu GPON tř.C (25-30dB).

8 Rozbor praktické části návrhu softwarové aplikace pro výpočet útlumové bilance pasivní optické sítě v jazyce Java.

Dle zadání práce byla aplikace naprogramována v objektově orientovaném jazyce Java v prostředí NetBeans společnosti Sun Microsystems. Grafické uživatelské rozhraní (GUI) využívá komponenty knihovny Swing. Celá aplikace je událostmi řízená což znamená, že na každou akci (událost - event) provedenou v GUI je také reakce (volání metod). Dále je v programu využito knihovny “java.awt.Graphics” a “java.awt.Canvas” pro vykreslování obrázků a grafiky do kontejnerů jako jsou “JPanel” nebo “JFrame”. Ukládání dat z programu je realizováno pomocí HTML dokumentu, PDF souboru a XLS dokumentu (Microsoft Excel). Aplikace také využívá práci s XML soubory pro jazykovou globalizaci a ukládání nebo načítání konfigurace programu.

8.1 Návrhový vzor

Již bylo zmíněno, že je aplikace řízená událostmi. Z tohoto důvodu byla snaha o využití návrhového vzoru MVC (Model View Controller). Tento návrhový vzor je výhodný v tom, že odděluje datovou, řídicí část a uživatelské rozhraní tak, že na sobě nejsou závislé.

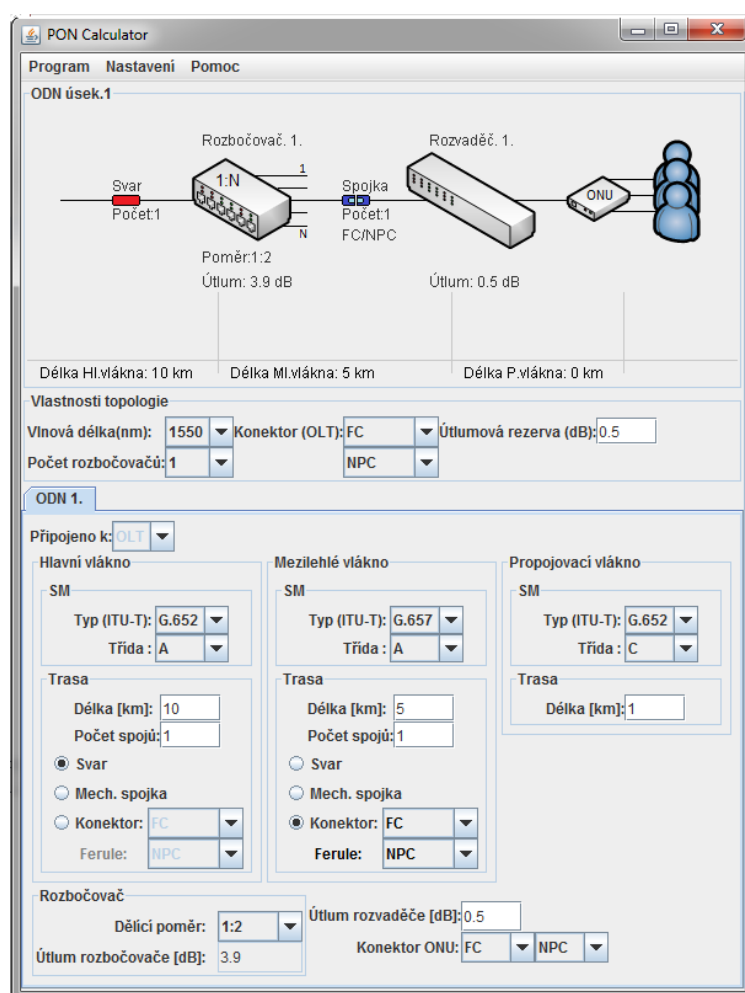


Obr. 8.1: Struktura Model View Controller.

- **Model** – jako model jsou chápány informace zpracovávány programem. Reprezentuje metody tříd, které jsou volány po provedení určité události, na kterou je zaregistrovaný posluchač.
- **View** – data musejí být nějakým způsobem reprezentována směrem k uživateli. V případě view je myšlen souhrn všech zobrazovaných GUI (Grafické Uživatelské Rozhraní) prvků.
- **Controller** – jedná se o řídicí prvek celého programu, který na základě události z view volá metody modelu a aktualizuje informace grafického rozhraní.

8.2 GUI - Grafické Uživatelské Rozhraní

8.2.1 Hlavní nabídka



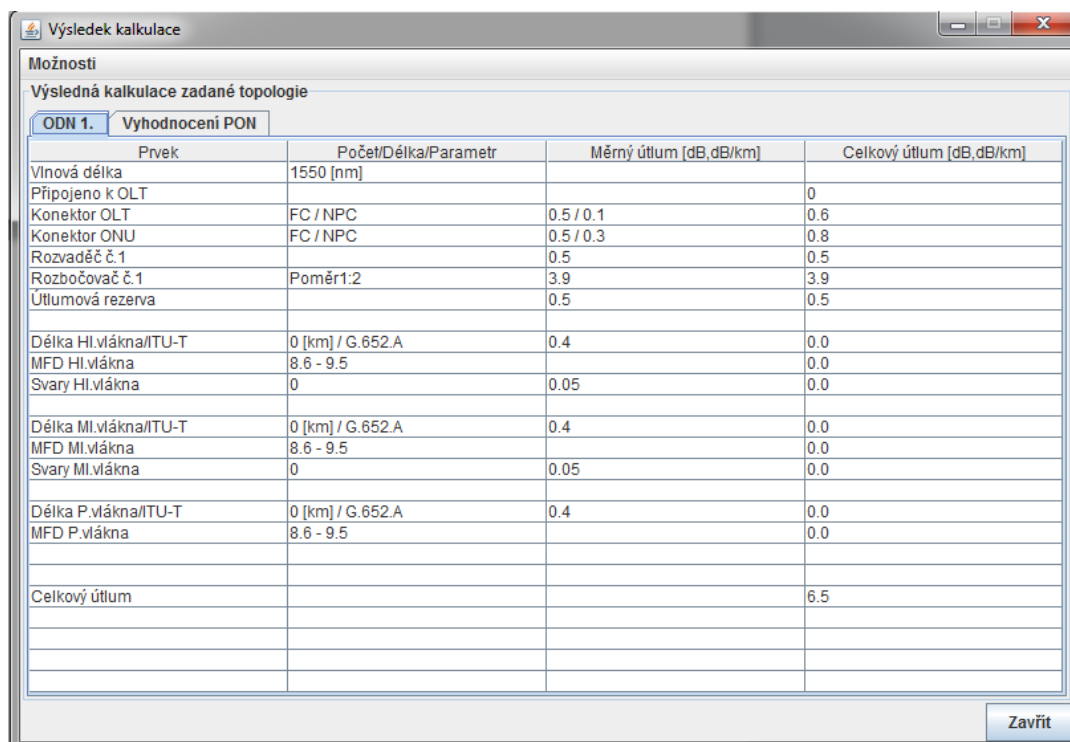
Obr. 8.2: Hlavní nabídka aplikace.

Hlavní nabídka je rozdělena do tří částí. V první části je pomocí grafických tříd Canvas a Graphics vykreslován aktuálně nastavovaný ODN úsek topologie. Ve druhém panelu se nachází hlavní nastavení celé sítě. V poslední části je pak nastavení pro daný ODN úsek. Jelikož aplikace umožňuje nastavení 5ti ODN, u kterých GUI vypadá stejně, je implementace jednotlivých panelů provedená následujícím způsobem.

Byla vytvořena třída reprezentující GUI panel nastavení, tato třída se jmenuje Tabbed a dědí z JFrame viz obr. 7.2. Poté je v metodě “Main()” naimplementováno pole objektů třídy Tabbed. Toto pole je předáváno v konstruktoru třídě View a podle vybraného indexu v komponentě “JComboBox“ s jmenovkou (Počet rozbočovačů) pomocí metod Add() a Remove() ze třídy JPanel aktualizuje počet jednotlivých panelů v kontejneru JTabbedPane. Stejným způsobem je řešena i změna panelu při výběru vlnových délek, kdy pro vlnové délky 850nm a 1300nm se zobrazí panel pro nastavení mnohovidových vláken a pro vlnové délky 1310nm, 1550nm a 1625nm se tento panel nahradí oknem nastavení pro jednovidová vlákna.

```
for(int i=0;i<5;++i)
{
    HMultimode[i] = new Multimode();
    MMultimode[i] = new Multimode();
    PMultimode[i] = new Multimode();
    HSingle[i] = new Singlemode();
    MSingle[i] = new Singlemode();
    PSingle[i] = new Singlemode();
    tab[i] = new Tabbed(HMultimode[i],MMultimode[i],PMultimode[i],HSingle[i],MSingle[i],PSingle[i]);
}
```

8.2.2 Okno s výsledky výpočtu



Výsledek kalkulace

Možnosti

Výsledná kalkulace zadané topologie

ODN 1. Vyhodnocení PON

Prvek	Počet/Délka/Parametr	Měrný útlum [dB,dB/km]	Celkový útlum [dB,dB/km]
Vlnová délka	1550 [nm]		
Připojeno k OLT			0
Konektor OLT	FC / NPC	0.5 / 0.1	0.6
Konektor ONU	FC / NPC	0.5 / 0.3	0.8
Rozvaděč č.1		0.5	0.5
Rozbočovač č.1	Poměr1:2	3.9	3.9
Útlumová rezerva		0.5	0.5
Délka Hl.vlákná/ITU-T	0 [km] / G.652.A	0.4	0.0
MFD Hl.vlákná	8.6 - 9.5		0.0
Svary Hl.vlákná	0	0.05	0.0
Délka Ml.vlákná/ITU-T	0 [km] / G.652.A	0.4	0.0
MFD Ml.vlákná	8.6 - 9.5		0.0
Svary Ml.vlákná	0	0.05	0.0
Délka Pl.vlákná/ITU-T	0 [km] / G.652.A	0.4	0.0
MFD Pl.vlákná	8.6 - 9.5		0.0
Celkový útlum			6.5

Zavřít

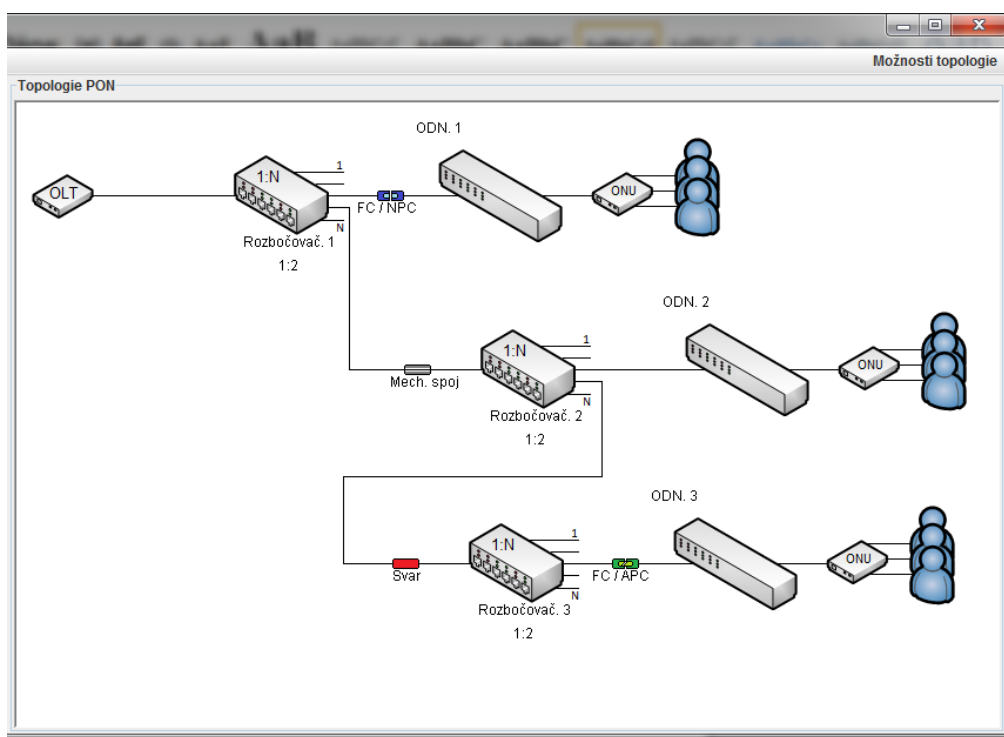
Obr. 8.3: Panel s výsledkem kalkulace.

Po provedení kalkulace ze zadaných výsledků se přepočítané hodnoty uloží do jednoduché tabulkové struktury, ze které jsou lehce čitelná data nastavených i výsledných parametrů. V následující ukázce je uvedena metoda pro vkládání informací do tabulek.

```
public void Autonaplneni(int indexTabulky, String nazev, Object pocet, Object nominalni, Object celkovy, int index)
{
    vysledek.tabulka [indexTabulky].SetData(nazev, index, 0);
    vysledek.tabulka [indexTabulky].SetData(pocet, index, 1);
    vysledek.tabulka [indexTabulky].SetData(nominalni, index, 2);
    vysledek.tabulka [indexTabulky].SetData(celkovy, index, 3);
}
```

Vstupními parametry metody jsou index tabulky určující daný úsek sítě, název položky, parametr (délka, počet nebo typ), nominální hodnoty útlumu, výsledek výpočtu útlumu a index řádku, na který je záznam vkládán.

8.2.3 Panel návrhu topologie



Obr. 8.4: Panel pro návrh topologie PON.

Na obr. 8.4 je ukázka panelu pro návrh topologie PON sítě. Každá část topologie, neboli každá ODN trasa lze jednoduše myší modifikovat do finální podoby. Detekování pozice ukazatele, je provedeno implementací MouseMotionListener v metodě mouseMoved(MouseEvent e). Tělo metody je v následující ukázce kódu.

```
if ((e.getX() > platno.x[i] && (e.getX() < (platno.x[i] + platno.Topologie.getWidth(vysledek))) &&
(e.getY() > (platno.y[i] - platno.Topologie.getHeight(vysledek)/2)) &&
(e.getY() < (platno.y[i] + platno.Topologie.getHeight(vysledek)/2)))
{
    platno.setCursor(Cursor.getPredefinedCursor(Cursor.HAND_CURSOR));
}
```

```

        if(onn[i]==false)
        {
            onn[i] = true;
            platno.on[i] = true;
            platno.repaint();
        }
    }

else
    {
        if(onn[i]==true)
        {
            platno.setCursor(Cursor.getPredefinedCursor(Cursor.DEFAULT_CURSOR));
            platno.on[i] = false;
            onn[i] = false;
            platno.repaint();
        }
    }
}

```

Do panelu je pro vykreslení grafiky vložen objekt dědicí ze třídy Canvas. Tato třída přepisuje metodu (`paint(Graphics g)`) pro kreslení 2D grafiky. V tomto případě, kdy se pohybuje s objekty na ploše a je proto nutné časté překreslování plátna, bylo vhodné využití metody tzv. “double buffering”. Tímto způsobem se eliminuje blikání obrazu.

Double buffering pracuje tak, že do vytvořené bitmapy s rozměry dle velikosti plátna se celá grafika postupně vykreslí mimo plátno. Na konci metody `paint()` se vykreslí bitmapa na plátno. V následující ukázce je vykreslení obrázku topologie pomocí double buffering.

```

int sirka,vyska;
int[] x = new int[5];
int[] y = new int[5];
Graphics g2;
Image offscreen;

public void paint(Graphics g)
{
    sirka = this.getWidth();
    vyska = this.getHeight();
    offscreen = createImage(sirka,vyska);
    g2 = offscreen.getGraphics();

    g2.drawImage(olt, xOLT, yOLT, this);
    for (int i = 0; i<pocet ; i++)
    {
        graf.drawImage(Topologie, x[i], y[i]-Topologie.getHeight(this)/2+1, this);
    }
    g.drawImage(offscreen,0,0,this);
}

```


8.3 Ukládání dat

Jako způsob ukládání dat se zdá být nejpříjemnější volbou PDF dokument, HTML dokument a klasický soubor excel (XLS). V případě PDF je výhoda v přenositelnosti na různé operační systémy, protože PDF dokument je všude podporovaný a lze jej jednoduše zobrazit. U HTML je stejná výhoda jako u PDF, ale na rozdíl od PDF již není nutná instalace dalších programů, protože většina operačních systémů již má prohlížeče HTML obsahu integrovány při vlastní instalaci. Na konec se mohou data uložit i v podobě XLS dokumentu pro jednodušší práci s uloženými daty ve formě tabulek.

8.3.1 PDF

V případě zpracování dat do podoby PDF dokumentu bylo zapotřebí využít externí knihovnu iText 1.4.6. Tato knihovna obsahuje třídy pro tvorbu a práci s PDF soubory. Mimo jiné jsou v ní obsaženy přímo třídy pro tvorbu tabulek (PdfPTable), práci s textem (Paragraph) a v neposlední řadě pro vytvoření dokumentu (Document). Realizace samotného ukládání je ve třídě SaveView metodou UlozeniPDF, kdy vstupními parametry jsou počet rozbočovačů, pole kontejneru s výsledky, pole proměnných typu boolean určujících zda se mají z dané tabulky výsledky uložit či nikoli a cesta umístění souboru. Ještě je nutné zmínit, že v menu pro uložení výsledků lze označit, které tabulky uživatel chce nebo naopak nechce ukládat.

```

public void UlozeniPDF(int pocetRozbocovacu, Vector[] vysledky, boolean[] selectionsave, String
URL) throws DocumentException
{
    Document document = new Document();
    Paragraph paragraph = new Paragraph();
    PdfPTable[] tabulka = new PdfPTable[5];

    for(int i=0; i<5; i++)
    {
        tabulka[i] = new PdfPTable(4);
    }
    PdfWriter.getInstance(document, new FileOutputStream(URL));

    document.open();

    paragraph.add(new Paragraph("Vysledky utlumove bilance "));
    paragraph.add(new Paragraph(nowTime("dd.MM.yyyy")));
    paragraph.setAlignment(paragraph.ALIGN_CENTER);

    document.add(paragraph);

    for(int j = 1; j <= pocetRozbocovacu ; j++)
    {
        if(selectionsave[j-1] == true)
        {
            Vector<String[]> mezivysledky = formatovani(vysledky[j-1]);

            PdfPCell cell = new PdfPCell(new Paragraph("ODN"+j));
            cell.setColspan(4);
            tabulka[j-1].addCell(cell);

            // hlavicka tabulky
            tabulka[j-1].addCell(new Phrase("Prvek", fontmin));
            tabulka[j-1].addCell(new Phrase("Pocet/Delka/Parametr [ks,m]", fontmin));
            tabulka[j-1].addCell(new Phrase("Nominalni (merny) utlum [dB,dB/km]", fontmin));
            tabulka[j-1].addCell(new Phrase("Celkovy utlum [dB,dB/km]", fontmin));

            // naplnění tabulky
            for(int i=0; i< vysledky[j-1].size(); i++)
            {
                tabulka[j-1].addCell(new Phrase(mezivysledky.elementAt(i)[0], fontmin));
                tabulka[j-1].addCell(new Phrase(mezivysledky.elementAt(i)[1], fontmin));
                tabulka[j-1].addCell(new Phrase(mezivysledky.elementAt(i)[2], fontmin));
                tabulka[j-1].addCell(new Phrase(mezivysledky.elementAt(i)[3], fontmin));
            }
        }
        document.close();
    }
}

```

8.3.2 HTML a XLS

Ve třídě `SaveView` jsou další metody pro ukládání dat `UlozeniHTML` a `UlozeniXLS`. Vstupní parametry těchto metod jsou stejné jako v případě PDF. V obou metodách se ukládá do souboru celý skript generovaný programem. Při ukládání do XLS souboru bylo nutné prozkoumat strukturu zápisu při vkládání dat do tabulek přímo z Excelu. Syntaxe uložených informací je takřka stejná s formátem zápisu do XML a proto nebylo složité přizpůsobit výpis skriptu vlastním potřebám.

8.3.3 Ukládání topologie

Program také nabízí ukládání topologie. Mezi podporované typy formátů rastrové grafiky patří PNG, JPG, GIF a BMP. Pomocí statické metody `write()` třídy `ImageIO` lze jednoduše ukládat obrázky do různých formátů. V parametrech metody `write()` najdeme ukládaný obrázek, formát obrázku a cestu umístění souboru.

```
ImageIO.write((RenderedImage) platno.offscreen, fc.getFileFilter().getDescription(), new File(URL));
```

8.4 Kalkulace výsledků

Výsledná kalkulace útlumové bilance je kombinace jednoduchých matematických operací sčítání a násobení. Podstatně složitější u výpočtu celkového útlumu je výpočet průměru vidového pole nebo vybrání hodnot útlumů vláken, svaru, spojek, konektorů, ferulí a rozbočovačů podle nastavení parametrů ODN úseku. Důležité je také počítat s útlumem, který je do trasy vkládán, pokud je ODN připojena k jinému rozbočovači.

8.4.1 Výběr ferule

Pro ukázkou, jak jsou v aplikaci vybírány útlumy jednotlivých částí sítě, je uveden příklad metody pro výběr ferule konektoru.

```

public double vyberferule( JComboBox ferule)
{
    double vysledek=0.0;
    if(ferule.getForeground()==Color.gray)vysledek= 0.0;
    else{
        if(ferule.getItemAt(ferule.getSelectedIndex())=="NPC") vysledek=Random(0.1,0.5);
        if(ferule.getItemAt(ferule.getSelectedIndex())=="PC") vysledek=Random(0.1,0.3);
        if(ferule.getItemAt(ferule.getSelectedIndex())=="SPC") vysledek=Random(0.1,0.3);
        if(ferule.getItemAt(ferule.getSelectedIndex())=="UPC") vysledek=Random(0.1,0.3);
        if(ferule.getItemAt(ferule.getSelectedIndex())=="APC") vysledek=Random(0.1,0.3);
    }
    return vysledek; }

```

8.4.2 Výpočet MFD

Výpočet průměru vidového pole se projevuje při spojování optických jednovidový vláken právě s různou hodnotou MFD. Útlum na těchto spojích vychází ze vzorce 4.7. Pro výpočet celkového útlumu na jednotlivých spojích je implementována metoda MFDcount(), ve které se specifikuje typ, třída vlákna a počet spojů na trase. Důležitým parametrem je samotná hodnota MFD daných vláken, tato hodnota je náhodné číslo v rozmezí specifikovaném konsorciem ITU-T. Vzorec pro výpočet útlumu je zastoupen metodou VypocetMFD() se vstupními parametry, průměry vidových polí spojovaných vláken.

```

public double MFDcount( JComboBox Typ , JComboBox Trida, int pocet )
{
    double vysledek = 0.0;
    double MFDA = GetMFD(Typ, Trida);
    double MFDB = GetMFD(Typ, Trida);
    for(int i = 0 ; i < pocet ; i ++ )
    {
        vysledek = vysledek + VypocetMFD(MFDA, MFDB);
        MFDA = MFDB;
        MFDB = GetMFD(Typ, Trida);
    }
    return roundTwoDecimals(vysledek);
}

public double VypocetMFD(double MFD1,double MFD2)
{
    double pom = 0.0;
    return pom = 20 * (Math.log10((0.5)*((MFD1/MFD2)+(MFD2/MFD1))));
}

```

8.5 Nápověda

Při nastavování parametrů sítě má uživatel možnost zobrazení nápovědy v pravém horním rohu obrazovky. Obsah nápovědy je v HTML dokumentu uložený ve zdrojových souborech aplikace a je načítán do komponenty JEditorPane. Tato komponenta má přímou podporu HTML tagů a obsah dokumentů je zobrazován stejně jako v případě prohlížečů.

```
public void NapovedaChange(String url, int width, int height) throws IOException
{
    help.editorPane.setPage(Main.class.getResource(url));
    help.editorPane.getDocument().putProperty("IgnoreCharsetDirective", Boolean.TRUE);
    help.setSize(width,height);
    help.setLocation(Toolkit.getDefaultToolkit().getScreenSize().width-width, 0);
}
```

Ke změně obsahu okna s nápovědou je vázána metoda `NapovedaChange()`, která dle zadané cesty ke zdroji obsahu, nastavené šířce a výšce okna aktualizuje obsah nápovědy.

8.6 Globalizace

Uživatel programu má také možnost změny jazyka programu. Aplikace podporuje jako výchozí jazyk češtinu a dodatečně angličtinu. Veškerý zobrazovaný text je načítán z XML souboru, který je uložen ve zdrojových souborech aplikace. Změna jazyka se týká i nápovědy programu, která je v obou jazykových variantách.

9 Vytvoření protokolu pro předmět Optoelektronika I na téma využití softwarové aplikace pro výpočet útlumové bilance v PON sítích.

Tato kapitola je věnována poslednímu bodu zadání bakalářské práce. Jde o návrh protokolu pro předmět Katedry telekomunikační techniky Optoelektronika I. Cílem této měřicí úlohy bude seznámit studenty prezenčního studia s problematikou návrhu pasivní optické sítě. První část je věnována teoretickému rozboru jednotlivých prvků optické přenosové trasy a útlumů, které se vyskytují při budování optické distribuční sítě. Dále následuje zadání, dle kterého budou studenti postupovat.

Studenti si při vypracování úlohy osvojí práci s aplikací pro kalkulaci útlumové bilance, která je součástí této bakalářské práce. Pro zjednodušení práce s aplikací byl vytvořen manuál, který se nachází na cd s názvem “Manual_aplikace_pro_vypocet_utlumove_bilance.pdf”.

Vypracovaný protokol je pro názornou ukázkou obsažen v příloze viz Příloha I. Je také umístěn na cd společně s názorným vypracováním pod názvem “Mereni_utlumove_bilance_pasivni_opticke_site.pdf”.

10 Závěr

Na základě nastudovaných informací týkajících se útlumů vyskytujících se v pasivních optických sítích byla úspěšně naprogramovaná hlavní část práce. Tou byla softwarová aplikace pro simulovaný výpočet útlumové bilance. Aplikace byla dle zadání naprogramována v objektově orientovaném jazyce Java.

Uživatelé, kteří budou tuto aplikaci využívat, mají možnost volby z širokého spektra nastavení optické sítě a všech jejích prvků. Je možno vytvořit až pětistupňové rozvětvení topologie s aplikováním jednovidových nebo mnohovidových vláken pracujících na vlnových délkách 850, 1300, 1310, 1550 a 1625nm. Dalšími nastavitelnými parametry v aplikaci je výběr typu vláken, konektorů, ferulí, rozbočovacího poměru optického rozbočovače apod.

V poslední části této práce je zavedení aplikace do praktické výuky žáků na Katedře komunikační techniky předmětu Optoelektronika I. formou vytvoření měřicí úlohy. Studenti si během práce s aplikací a vypracováním protokolu vyzkoušejí, jak jednotlivé prvky mohou ovlivnit výslednou útlumovou bilanci optické sítě a jaké nastavení odpovídá mezním hodnotám útlum u standardizovaných variant pasivních optických sítí.

Aplikace je vhodná jen pro teoretický návrh a výpočet útlumové bilance. V praxi existuje mnoho dalších kritérií, které nejsou v aplikaci uvedeny a o které by mohla být ještě rozšířena.

11 Použitá literatura

- [1] FILKA, Miroslav. *Optoelektornika pro telekomunikace a informatiku*. Vydání první. Vídeňská 113, Brno : Centa, spol s.r.o., 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] LAFATA, Pavel.: *Útlumová bilance pasivních optických přístupových sítí*. Access server [online]. 2009, roč. 9, č. 200906, [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009060002>>.ISSN 1214-9675
- [3] LAFATA, Pavel.:*Pasivní optická přístupová síť EPON*. Access server [online]. 2009, roč. 9, č. 200905, [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cisloclanku=2009050003>>.ISSN 1214-9675
- [4] LAFATA, P., VODRÁŽKA, J.:*Pasivní optická síť GPON*. Access server [online]. 2009, roč. 9, č. 200905, [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>>. ISSN 1214-9675.
- [5] LAFATA, Pavel.: *Pasivní optické sítě WDM-PON*. Access server [online]. 2009, roč. 9, č.200905, [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>>.ISSN 1214-9675
- [6] LAFATA, Pavel.:*Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s*. Access server [online]. 2011, roč. 9, č. 201103, [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2011030001>>.ISSN 1214-9675
- [7] *Opticon.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-03-02]. OPTICON.CZ spol. s.r.o. - PŘEHLED NEJZNÁMĚJŠÍCH OPTICKÝCH KONEKTORŮ. Dostupné z WWW: <http://opticon.edituj.cz/index.php?id_document=41910>.
- [8] PUŽMANOVÁ, Rita.: Pasivní optická síť., *Lupa.cz* [online]. 2003 [cit. 2011-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/pasivni-opticka-sit/>>.

- [9] DOLEČEK, Jaroslav.: *Optoelektronika a optoelektronické prvky*. . 1. vyd. Praha : BEN. Technická literatura, 2005. 160 s. ISBN 80-7300-184-5.
- [10] GOVIND P, Agrwal.: *Lightwave technology : components and devices*. NJ: Hoboken : NJ Wiley, 2004. 448 s. ISBN 0-471-21573-2.
- [11] ZHENG, Jun ; T.MOUFTAH, Hussain . *Optical WDM Networks : Concepts and Design Principles*. 222 Roserwod Drive, Danvers : Wiley, 2004. 312 s. ISBN 0-471-67170-3.
- [12] KUCHARSKI, Maciej ; DUBSKÝ, Pavel .: *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras.* Praha : Mikrotom Praha, 1998. 73 s. ISBN 8-023-82844-4.
- [13] ITU-T: G.651.1 –*Characteristics of a 50/125 μ m multimode graded index optical fibre cable for the optical access network.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, July 2007.
- [14] ITU-T: G.652 –*Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, June 2005.
- [15] ITU-T: G.653 – *Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, July 2010.
- [16] ITU-T: G.654 –*Characteristics of a cut-off shifted, single-mode optical fibre and cable.* , [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, July 2010.
- [17] ITU-T: G.655 –*Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, November 2010.

- [18] ITU-T: G.656 – *Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, July 2010.

- [19] ITU-T: G.657 – *Characteristics of a bending-loss in sensitive single-mode optical fibre and cable for heaccess network.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, November 2009.

- [20] ITU-T: G.984.1 – *Gigabit - capable passive optical networks (GPON): General characteristics.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, March 2008.

- [21] ITU-T: G.987.2 – *10 - Gigabit - capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification.*, [online], Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=G>>.[cit. 2011-03-02]. ITU-T, January 2010.

12 Přílohy

I. Laboratorní úloha pro předmět Optoelektronika I.

Optoelektronika I

Měření útlumové bilance pasivní optické sítě.

Datum: 5.5.2011
Autor: Lukáš Hájek
Kontakt: haj256@vsb.cz
Předmět: Optoelektronika I

Návod k praktickému cvičení

Cílem této laboratorní úlohy je seznámit studenty s návrhem pasivní optické sítě. Přiblížit jim jaká omezení s sebou takový návrh přináší a jaké útlumy mohou ovlivnit přenášený signál na trase od OLT (optické ukončovací jednotky) k ONU (optické uživatelské jednotce). Student si vyzkouší práci v programu PON kalkulátor, který byl součástí bakalářské práce Lukáše Hájka, pro kalkulaci útlumové bilance v pasivních optických sítích.

1. Útlumové třídy PON sítí

V rámci doporučení ITU-T G.984 byly definovány tři útlumové třídy pro variantu GPON dále ITU-T G.987.2 uvádí čtyři pro XGPON. Rovněž v doporučení IEEE 802.3ah byly zahrnuty dvě varianty sítě EPON. Uvedené varianty se liší zejména hraničními hodnotami překlenutelného útlumu optické distribuční sítě ODN, hodnotami vysílaného a přijímaného výkonu a z toho vyplývající energetické a zejména finanční rozdíly.

		Rozsah útlumu ODN [dB]	Max. překlenutelná vzdálenost [km]
GPON	třída A	5-20	10-20
	třída B	10-25	
	třída C	15-30	
EPON typ 1		5-20	10-20
EPON typ 2		10-24	
XG-PON tr.N1		14-29	20-40
XG-PON tr.N2		16-31	
XG-PON tr.E1		18-33	
XG-PON tr.E2		20-35	

Tab. 1: Útlumové třídy sítí GPON, EPON a XG-PON.

2. Vlákna

Konsorcium ITU-T standardizovalo několik typů vláken s rozdělením do různých tříd. Standard G.651.1 specifikuje základní vlastnosti mnohovydových vláken a standardy G.652 – G.657 pak vlastnosti jednovydových vláken. V aplikaci jsou všechna tato vlákna zahrnuta a uživatel je může použít k vybudování optické přenosové trasy.

Průměr pláště	120μm ± 2μm	
Průměr jádra	50μm ± 3μm	
Numerická apertura	0,2	
Macroohybové ztráty	Rádus	15mm
	Počet otáček	2
	850nm	1dB
	1300nm	1dB
Šířka pásma	850nm	500Mhz
	1300nm	500Mhz
Měrný útlum	850nm	3,5dB/km
	1300nm	1dB/km

Tab. 2: G.651.

		A	B	C	D
MFD	1310nm	8,6-9,5μm	8,6-9,5μm	8,6-9,5μm	8,6-9,5μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm	125 μm	125 μm
Macroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100	100	100
	1550nm, 1625nm	0,1dB	0,1dB	0,1dB	0,1dB
Měrný útlum	1310nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	1550nm	0,3 dB/km	0,35 dB/km	0,3 dB/km	0,3 dB/km
	1625nm	-	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km

Tab. 3: G.652.

		A	B
MFD	1550nm	7,8-8,5μm	7,8-8,5μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm
Macroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100
	1550nm	0,1dB	0,1dB
Měrný útlum	1310nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	1550nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km

Tab. 4: G.653.

		A	B	C
MFD	1550nm	9,5-10,5μm	9,5-10,5μm	9,5-10,5μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm	125 μm
Macroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100	100
	1625nm	0,5dB	0,5dB	0,5dB
Měrný útlum	1310nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km
	1550nm	0,22 dB/km	0,22 dB/km	0,22 dB/km

Tab. 5: G.654.

		C	D	E
MFD	1550nm	8-11μm	9,5-10,5μm	9,5-10,5μm
Průměr pláště		125 μm	125 μm	125 μm
Macroohybové ztráty	Rádus	30mm	30mm	30mm
	Počet otáček	100	100	100
	1625nm	0,5dB	0,1dB	0,1dB
Měrný útlum	1550nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km	0,35 dB/km
	1625nm	0,4 dB/km	0,4 dB/km	0,4 dB/km

Tab. 6: G.655.

MFD	1550nm	7 -11μm
Průměr pláště		125 μm
Macroohybové ztráty	Rádus	30mm
	Počet otáček	100
	1625nm	0,5dB
Měrný útlum	1480nm	0,4 dB/km
	1550nm	0,35 dB/km
	1625nm	0,4 dB/km

Tab. 7: G.656.

		A				
MFD	1310nm	8,6-9,5μm				
Průměr pláště		125 μm				
Macroohybové ztráty	Typ	A1		A2		
	Rádus	15	10	15	10	7,5
	Počet otáček	10	1	10	1	1
	1555nm [dB]	0,25	0,75	0,03	0,1	0,5
	1625nm [dB]	1	1,5	0,1	0,2	1
Měrný útlum	1310,1625nm	0,4 dB/km				
	1550nm	0,3 dB/km				

Tab. 8: G.657.A

		B					
MFD	1310nm	6.3-9,5μm					
Průměr pláště		125 μm					
Macroohybové ztráty	Typ	B2			B3		
	Rádus	15	10	7,5	10	7,5	5
	Počet otáček	10	1	1	1	1	1
	1555nm [dB]	0,3	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15
	1625nm [dB]	0,1	0,2	1	0,1	0,25	0,45
Měrný útlum	1310,1625nm	0,5 ; 0,4 dB/km					
	1550nm	0,3 dB/km					

Tab. 9: G.657.B

1. Spojení vláken

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější provádět svařování pro co nejdelší části vlákna, na druhou stranu je potřeba vzít v úvahu problémy při pokládce příliš dlouhých úseků. Doporučené vzdálenosti jednotlivých spojů u přívodního (hlavního) vlákna typicky 4 nebo 6 km, 2 nebo 4 km pro mezilehlé vlákno a ideálně žádný svar pro krátké připojovací vlákno.

1.1. Svary

Tzv. trvalé spoje jsou používány zejména u komunikací na velké vzdálenosti, kde vyžadujeme minimální útlum a kde je jisté že se nebudou vlákna často rozebírat. U svařování se musí dbát na čistotu a zvláště pak na přesně kolmé zakončení svařovaných vláken tak aby byl útlum co nejmenší. V případě profesionálních svarů se jedná o útlumy i pod 0,05dB.

1.2. Mechanické spojky

Dalším způsobem jak se v praxi spojují vlákna, je tzv. mechanické spojení. Toto spojení je provedeno jednoduchým zasunutím odizolovaných vláken do kapilárky, kde bývá gel s indexem lomu blízkým indexu lomu jádra. Díky tomu se výrazně zmenší útlum odrazu. Vložný útlum tohoto typu se pohybuje kolem 0,5dB.

1.3. Konektory

Spoje rozebíratelné, tzv. konektorové spoje, se většinou používají v ústřednách, případně v místech opakovacích zesilovačů, v menší míře i v kabelových trasách, v místech provádění měření nebo v místech častého rozebírání spoje.

Typ konektoru /spojky	Vložný útlum [dB]	ORL [dB]	Úpravy ferule
FC	0,5	65 (APC), 50(UPC)	SPC/UPC/APC
ST	0,4	50	SPC
SC	0,2	65 (APC), 50(UPC)	SPC/UPC/APC
E2000	0,2		SPC
FDDI	0,2		
MT array	0,3		
LC	0,15		
Svar	0,05		

Tab. 10: Typické hodnoty útlumů pro různé typy konektorů a spojek.

Ferule

Ferule se dá chápat jako část konektoru v přední části s nejpřesnějšími tolerancemi. Je vyráběná z kompozitních plastů, keramiky nebo kovu a broušená do požadovaného tvaru ručně nebo strojově. Nejčastějším typem zabroušení ferule je dnes PC, APC, NPC, UPC a SPC. Jedná se o mechanickou část, která slouží k udržení zasunutého optického vlákna jako součást konektorové soustavy. Stejně jako u všech ostatních typů spojování vláken i zde se musí dbát velká pozornost na čistotu spojovaných vláken a co nejdokonalejší kolmost zakončení čel vláken.

Ferule	Zabroušení	Vložný A_{vl} [dB]	Útlum odr. A_{odr} [dB]
NPC	Kolmé	0,1-0,5	-14
PC	Sférické	0,1-0,3	-35
SPC	Sférické	0,1-0,3	-45
UPC	Sférické	0,1-0,3	-55
APC	Úhlové sférické	0,1-0,3	-65

Tab. 11: Typy ferulí.

2.1. MFD – Průměr Vidového Pole

U spojování různých typů jednovidových vláken může dojít ke vzrůstu útlumů na těchto spojích vlivem rozdílných průměrů vidových polí. Hodnoty MFD jednotlivých vláken jsou uvedeny v tabulkách 2 – 9. Výsledný útlum na takovémto spoji je pak dán vztahem 1.

$$A_{\text{MFD}}[\text{dB}] = -10 \log \frac{4}{\left(\frac{\text{MFD}_2}{\text{MFD}_1} + \frac{\text{MFD}_1}{\text{MFD}_2}\right)^2} = 20 \log \frac{1}{2} \left(\frac{\text{MFD}_1}{\text{MFD}_2} + \frac{\text{MFD}_2}{\text{MFD}_1} \right) \quad (1)$$

2.2. Průměr jader

V případě spojování mnohovidových vláken pak vzniká útlum na spoji s rozdílnými průměry jader vláken.

$$A_{\text{jadra}}[\text{dB}] = -10 * \log \left(\frac{a_2^2}{a_1^2} \right) \quad (2)$$

	Vysílací vlákno [μm]		
Přijímací vlákno[μm]	62.5/125	85/125	100/140
50/125	0,9 - 1,6 dB	3 - 4,6 dB	4,7 - 9 dB
62.5/125	-	0,9 dB	2,1 - 4,1 dB
85/125	-	-	0,9 - 1,4 dB

Tab. 12: Převodová tabulka pro mnohovidová vlákna různých průměrů jader.

4. Pasivní optické rozbočovače

Hlavní funkcí rozbočovače je dělení vstupního signálu do N. počtu výstupů ve směru sestupném a v opačném směru navázání všech signálů do jednoho vlákna to vše na technologii TDM.

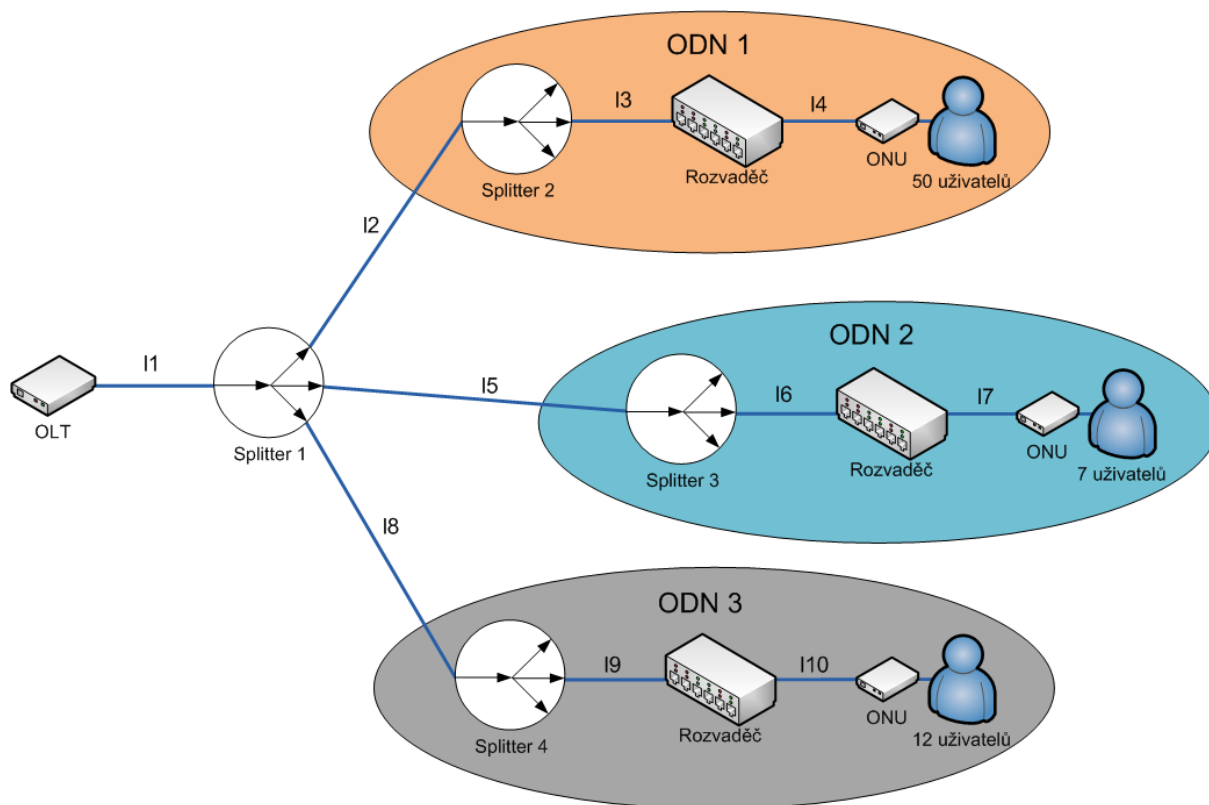
Rozbočovací poměr (1:N)	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Útlum rozbočovače [dB]	3,9	7,4	10,8	14,1	17,3	18,5	21,7

Tab. 13: Tabulka útlumů pro různé poměry rozbočovačů.

5. Zadání

1. Proveďte kalkulaci útlumové bilance pro optickou síť dle zadání viz obr.1. Výsledkem měření budou příložené tabulky ve formátu PDF vyexportované z programu a vlastní rozvržení topologie. Dále popis jednotlivých vláken použitých pro vytvoření optické distribuční sítě, funkce OLT, ONU jednotky a optického rozbočovače.

Obr. 1: Zadaná topologie sítě.



Síť je situovaná v příměstské oblasti a rozvětvená do 3 úseků vedoucích z centrální stanice. V prvním úseku síť je připojeno 50 uživatelů, v druhém 7 uživatelů a ve třetím 12 uživatelů. Pracovní vlnová délka bude pro tuto síť 1550nm (pokud vyučující nestanoví pracovní vlnovou délku jinak). Typ vlákna není přesně specifikován a nemusí být pro všechny úseky stejný. Délky jednotlivých tras, počty spojů, a rozbočovací poměry jednotlivých rozbočovačů jsou definovány v tabulkách viz tab.1. a tab.2.

Úseky	Délky [km]	Typ spoje	Počet spojů [ks]
L1	5	svar	1
L2	10		3
L3	2		0
L4	0,5		0
L5	13		4
L6	4		1
L7	0,2		0
L8	7		2
L9	5		1
L10	0,3		0

Tab. 14: Popis jednotlivých úseků.

	Rozbočovací poměr (1:N)	Vložený útlum rozbočovače [dB]
Rozbočovač č.1	1:4	7,4
Rozbočovač č.2	1:64	18,5
Rozbočovač č.3	1:8	10,8
Rozbočovač č.4	1:16	14,1

Tab. 15: Rozbočovací poměry.

Poznámka: Optické rozvaděče není nutné používat v případě, že je uživatel nechce do topologie zahrnout, stačí nastavit vložený útlum na 0 dB.

Pro tuto topologii je dále vybrán jako konektor OLT jednotky SC s ferulí APC u ONU pak stejná volba konektoru i ferule.

2. Navrhněte takovou PON síť s minimálně 3 úseky aby splňovala rozmezí útlumů technologie EPON typ 2, GPON tř.C a XG-PON tř.E1 . Vzdálenost ONU jednotek od OLT bude v rozmezí 10-20 km. Typy vláken, druh spojení vláken a použití rozvaděčů je jen na volbě studentů. Výsledkem bude vyexportovaná tabulka s výslednou kalkulací a rozvržení pro PON síť.

6. Postup měření

1. Dle zadané topologie na obr.1. nastavte v programu stejný počet ODN úseků a jejich zapojení tak aby odpovídalo zadané topologii.
2. Délky jednotlivých úseků jsou uvedeny v tabulce 14. Podle těchto hodnot nastavte vzdálenosti všech vláken.
3. Podle tabulky 14 nastavte počty svaru jednotlivých tras.
4. Rozbočovací poměry optických rozbočovačů nastavte podle tabulky 15.
5. Zbytek nastavení všech prvků optické sítě je uvedeno v zadání.
6. Po vypočtení útlumové bilance nastavené sítě vyexportujte výsledky ODN 2., 3. a 4. do PDF souboru s názvem LOGIN_1.pdf.
7. Uložte obrázek výsledné topologie s názvem LOGIN_1.jpg.
8. Popište, čím se jednotlivá vlákna vyznačují a kde mají své uplatnění.
9. Vypište srovnání jednotlivých typů pasivních optických sítí EPON, GPON, XG-PON v závislosti na maximálním počtu připojených uživatelů, přenosových rychlostech, vlnových délkách, použitém protokolu a dosahu.
10. V druhé části postupujte dle zadání 2. Snažte se použít všechny způsoby spojení ne striktně jen svary.
11. Opět uložte výsledek výpočtu do PDF souboru a topologii do souboru JPG s názvem LOGIN_2.pdf.

